

Association
mondiale
de la Route



World Road
Association

MANUEL DE

Sécurité

ROUTIÈRE



2003 - COMITÉ TECHNIQUE AIPCR DE LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE (C13) Version 1.00

Manuel de Sécurité Routière

Recommandations de
l'Association mondiale de la route (AIPCR)



Cette édition du Manuel de Sécurité Routière de l'AIPCR a été publiée grâce au soutien financier et aux moyens humains mis à disposition par le Ministère des Transports du Québec ainsi qu'aux contributions financières de la France, de la Grèce et de la Suisse.

Publié par



CONTENU

PARTIE 1 : INTRODUCTION A LA SECURITE ROUTIERE
→ Chapitre 1 : Ampleur du problème
→ Chapitre 2 : Gestion de la sécurité routière
→ Chapitre 3 : Facteurs de sécurité routière
PARTIE 2 : PROCESSUS D'ANALYSE
→ Chapitre 4 : Données
→ Chapitre 5 : Identification
→ Chapitre 6 : Diagnostic
→ Chapitre 7 : Établissement des priorités
→ Chapitre 8 : Évaluation
PARTIE 3 : FICHES TECHNIQUES
→ Alignement horizontal
→ Alignement vertical
→ Distance de visibilité
→ État de la surface de roulement
→ Facteurs humains
→ Intersections
PARTIE 4 : ÉTUDES TECHNIQUES
→ Vitesses pratiquées
→ Relevé de circulation
→ Adhérence
→ Distance de visibilité
→ Temps de déplacement et retards
→ Conflits de circulation

Table des matières

Contenu	iii
Préface	xiv
Introduction	xvii
Structure de l'ouvrage	xvii
Développements futurs	xviii
Normes	xix
Remerciements à l'équipe de développement	xix
PARTIE 1 - Introduction à la sécurité routière	1
Chapitre 1	4
1.1 Historique	6
1.2 Traumatismes routiers	6
1.2.1 Estimation des décès	7
1.2.2 Estimation des blessés	9
1.2.3 Prévisions du nombre de décès	9
1.3 Coûts économiques des accidents routiers	9
1.3.1 Résultats des méthodes d'évaluation des coûts des accidents	10
1.4 Analyses par régions	11
1.4.1 Taux et tendances	12
1.4.2 Profil des accidents	12
1.5 Sommaire	16
1.6 Conclusion	17
Références	18
Chapitre 2	22
2.1 Introduction	24
2.2 Programme de sécurité routière	24
2.3 Composantes d'un programme de sécurité	26
2.3.1 Structure organisationnelle	26
2.3.2 Système intégré de données	29
2.3.3 Soutien politique et social	29
2.3.4 Financement des initiatives de sécurité routière	31
2.3.5 Compétences techniques et activités de recherche	32
2.3.6 Suivi et évaluation	33
2.4 Plan d'action en sécurité routière	33
2.4.1 Priorisation des actions	34
2.4.2 Objectif principal de réduction du nombre d'accidents	36
2.5 Conclusion	38
Lectures recommandées	38
Références	39
Chapitre 3	44
Avant-propos	46
3.1 Système humain – environnement – véhicule	46
3.1.1 Système élémentaire (HEV)	47

3.1.2 Analyse des accidents	48
3.2 En pratique : trois principes	54
3.2.1 Principe de qualité	54
3.2.2 Principe de cohérence dans l'espace	56
3.2.3 Principe de cohérence dans le temps	57
3.3 Ingénierie de la sécurité routière	58
3.3.1 Comment détecter les sites dangereux	58
3.3.2 Audits de sécurité routière	60
3.4 Conclusion	61
Références	63
PARTIE 2 - Processus d'analyse.....	65
Chapitre 4	68
Introduction	70
4.1 Données sur les accidents	70
4.1.1 Utilisateurs des données	71
4.1.2 Rapport d'accident	72
4.1.3 Information critique et souhaitable	75
4.1.4 Méthodes de localisation des accidents	77
4.1.5 Stockage des données d'accidents	81
4.1.6 Limites des données d'accidents	82
4.2 Autres données	86
4.2.1 Fichier de données sur l'infrastructure routière	86
4.2.2 Inventaire photographique et vidéo	86
4.2.3 Fichier des données sur la circulation	87
4.2.4 Fichier de l'hôpital	87
4.2.5 Autres fichiers potentiels de données	87
4.3 Système intégré de données	88
4.3.1 Liaison de fichiers	89
4.4 Autres outils de collecte de données	91
4.4.1 Équipements d'enregistrement lors d'accidents	91
4.4.2 Systèmes experts	92
4.5 Conclusion	93
Références	94
Annexe 4-1	94
Chapitre 5	100
5.1 Introduction	103
5.2 Cibles	104
5.2.1 Points noirs	104
5.2.2 Autres cibles	107
5.3 Identification fondée sur les accidents	108
5.3.1 Identification – Données sur tous les accidents	108
Fréquence d'accidents	109
Taux d'accidents	111
Taux d'accidents critique	112
Indice équivalent de dommages matériels seulement (IEDMS)	114

Indice de gravité relative (IGR)	115
Critères combinés	117
Modèles de prédiction d'accidents	118
Méthodes empiriques bayésiennes	119
5.3.2 Types d'accidents	122
Test de proportion (distribution binomiale)	122
5.3.3 Critères fondés sur les accidents : conclusions	125
5.4 Identification proactive	127
5.4.1 Audits de sécurité routière (ASR)	128
5.4.2 Identification : Une perspective élargie	131
5.5 Conclusion	134
Références	136
Annexe 5-1	138
Population de référence et potentiel d'amélioration	140
Nature aléatoire des accidents	142
Période d'accidents	144
Régression vers la moyenne	144
Biais de sélection	144
Taux d'accidents – Hypothèse de linéarité (suivant Mahalel, 1986)	145
Taux d'accidents critique – Hypothèse de linéarité	146
Annexe 5-2	146
 Chapitre 6	 152
Introduction	154
6.1 Historique du site	157
6.2 Catégorisation du site	158
6.3 Analyse des accidents	159
6.3.1 Comprendre l'accident	159
6.3.2 Analyse statistique des accidents	162
6.4 Observations au site	167
6.4.1 Préparatifs	170
6.4.2 Familiarisation avec le site	171
6.4.3 Observations détaillées	172
6.4.4 Relevés additionnels	173
6.5 Conclusion	176
Références	177
Annexe 6-1	178
Annexe 6-2	190
Annexe 6-3	211
Annexe 6-4	241
 Chapitre 7	 266
7.1 Introduction	268
7.2 Programme de réduction d'accidents	269
7.3 Évaluation économique	269
7.3.1 Paramètres	269
7.3.2 Critères d'évaluation économique	273

Taux de rentabilité immédiate (TRIM)	273
Valeur actualisée nette (VAN)	274
Valeur actualisée nette/valeur actualisée des coûts (VAN/VAC)	276
Programmation linéaire en nombres entiers (PLINE)	277
Ratio marginal avantages/coûts (RMAC)	278
Taux de rentabilité interne (TRI)	278
7.4 Autres facteurs à considérer	279
7.5 Conclusion	280
Références	281
Annexe 7-1	282
 Chapitre 8	 288
8.1 Introduction	290
8.1.1 Suivi des objectifs nationaux	290
8.1.2 Suivi de l'évolution dans les pays en voie de développement	290
8.2 Observations et études comportementales	292
8.2.1 Évaluations par observations	292
8.2.2 Évaluations par études comportementales	293
Vitesse de la circulation	295
Conflits de circulation	295
Relevé de circulation	295
Temps de déplacement	296
Perception du public	296
Effets sur les zones avoisinantes	296
8.3 Évaluation fondée sur les accidents	297
8.3.1 Effet sur les accidents	297
8.3.2 Facteurs à considérer	297
8.3.3 Analyses graphiques	299
8.3.4 Évaluation statistique	301
8.4 Évaluation économique	303
8.5 Efficacité d'ensemble et stratégie future	304
Références	305
Annexe 8-1	306
 PARTIE 3 -Fiches techniques	 317
Tracé en plan – Alignement horizontal	320
Résumé	324
Rayon (ou degré) de courbure	326
Différentiels de vitesses	330
État de la surface de roulement	331
Renversement	335
Dévers	336
Largeur de la route	337
Accotements	338
Abords de route – Distance de visibilité	339
Abords de la route – Route qui pardonne	340
Dépassement	342

Signalisation et autres dispositifs d'avertissement	343
Combinaisons de caractéristiques	344
Références	345
Annexe TP-1 : Dynamique des courbes horizontales	348
Annexe TP-2 : Géométrie des courbes horizontales circulaires	349
Annexe TP-3a : Calcul des différentiels de vitesses (selon Lamm et al.)	350
Annexe TP-3b : Calcul des différentiels de vitesses (Espagne) :	352
Annexe TP-4 : Abords de route et visibilité en courbe horizontale	353
Profil en long – Alignement vertical	356
Résumé	359
Pentes descendantes – Généralités	361
Signalisation	362
Drainage	362
Aires de vérification des freins	363
Lits d'arrêt	364
Pentes montantes – Généralités	365
Voies pour véhicules lents	366
Pentes montantes – Drainage	367
Courbes verticales – Généralités	368
Dépassement	369
Drainage	370
Références	371
Annexe PL-1 Paramètres de conception du profil en long	374
Annexe PL-2 Température des freins dans les descentes	375
Annexe PL-3 Vitesse des véhicules lourds dans les montées	379
Annexe PL-4 Visibilité dans les courbes verticales	382
Distance de visibilité	386
Sommaire	388
Intersections	391
Distance de visibilité d'arrêt	391
Distance de visibilité de manœuvre	392
Triangle de visibilité	394
Distance de visibilité d'anticipation (intersection et section)	395
Sections	396
Distance de visibilité d'arrêt ou d'anticipation	396
Distance de visibilité de dépassement	396
Distance de visibilité de rencontre	397
Références	398
État de la surface de roulement	402
Résumé	404
Frottement	406
Uni	411
Références	414
Annexe SR-1	417

Facteurs humains	422
Introduction	424
Principes généraux	424
Éléments clés du système de transport routier	424
Prévention des accidents	425
Rôle de l'humain dans les accidents routiers	425
Principaux facteurs humains	426
Tension et charge de travail	426
Perception	427
Suivi de la voie	431
Choix de la vitesse	432
Orientation et anticipation	434
Conclusion	440
Références	441
Intersection	444
Introduction	447
Généralités	448
Choix du type d'intersection	448
Sécurité aux intersections	452
Principes de conception et environnement routier	457
Points de conflits aux intersections	458
Espacement des intersections	459
Tracé de la route	460
Usagers spécifiques	461
Contrôle des accès	463
Abords de route	463
Distance de visibilité	463
Comparaison de solutions viables	464
Intersections conventionnelles	465
Intersections à 3 branches à priorité signalée – Généralités	465
Intersections à 4 branches à priorité signalée – Généralités	466
Intersections à feux - Généralités	466
Intersections à plus de quatre branches – Généralités	467
Disposition des branches – Généralités	467
Suppression de mouvements – Généralités	468
Intersections conventionnelles – Mouvement tout droit	469
Intersections conventionnelles – Virage à droite	470
Intersections conventionnelles – Virage à gauche	471
Intersections conventionnelles - Les îlots	474
Intersections conventionnelles – Voies de changement de vitesse	477
Biseaux de transition	478
Carrefours giratoires	479
Généralités	479
Carrefours giratoires ordinaires	481
Îlot central	481
Entrée	482

L'anneau	484
Sortie	485
Voie réservée de virage à droite	485
Mini-carrefours giratoires	486
Bibliographie	487
PARTIE 4 - Études techniques	494
Vitesses pratiquées	498
Introduction	500
Quand effectuer une étude de vitesse	500
Comment effectuer un relevé de vitesse	501
Méthode manuelle – Pistolet radar ou laser	501
Méthode manuelle – Chronomètre	502
Méthode automatique – Tubes pneumatiques ou boucles magnétiques	503
Présentation des résultats	504
Relevé de circulation	508
Introduction	510
Quand effectuer un relevé de circulation	510
Comment effectuer un relevé de circulation	511
Méthodes manuelles	512
Méthodes automatiques (tubes pneumatiques, boucles magnétiques, autres)	516
Vidéos et nouvelles technologies	517
Évaluation du DJMA	518
Présentation des résultats	520
Références	523
Annexe RC-1	525
Adhérence	532
Introduction	534
Quand effectuer une étude de frottement	534
Comment détecter les problèmes	534
Observations visuelles	534
Essais de frottement	538
Facteurs d'ajustement du frottement	539
Interprétation des résultats	541
Références	542
Distance de visibilité	546
Introduction	548
Quand mesurer la distance de visibilité	548
Comment mesurer la distance de visibilité	548
Mesures sur le terrain	549
Mesures sur plan	554
Références	556

Temps de déplacement et retards	560
Introduction	562
Quand effectuer une étude des retards	562
Comment effectuer une étude des retards	563
Section de route - Véhicule test	563
Intersection - Méthode manuelle	566
Présentation des résultats	569
Référence	570
Annexe TD-1	571
Conflits de circulation	578
Introduction	580
Quand effectuer une étude de conflits	582
Comment effectuer une étude de conflits	584
Présentation des résultats	587
Références	589
Annexe CC-1	591
Index	595

PRÉFACE

MESSAGE DU PRÉSIDENT DE L'AIPCR

La réduction du nombre d'accidents de la route et l'amélioration de la situation en matière de sécurité routière deviennent des préoccupations communes à l'échelle mondiale. La situation est cependant fort inégale selon les pays et les évolutions sont parfois même divergentes : amélioration dans certains pays mais dégradation dans d'autres, notamment dans la plupart des pays en développement et en transition économique, où l'accroissement du nombre d'accidents accompagne la croissance du trafic routier.

Le présent manuel, rédigé à l'initiative du Comité technique de la sécurité routière de l'Association mondiale de la Route (AIPCR), a pour objectif d'aider les ingénieurs routiers à mieux appréhender l'impact de l'infrastructure sur la sécurité routière à toutes les étapes de la conception et de l'exploitation. Fruit de l'échange des réflexions entre experts de différents pays, il constitue un ouvrage de référence pour tous les ingénieurs qui s'intéressent aux problèmes de sécurité routière. Nous espérons que la transposition au contexte local des indications de ce manuel contribuera, grâce à des routes plus sûres, à l'amélioration de la sécurité routière et à la réduction du bilan mondial de décès et de blessés dans les accidents de la route. Ce travail remarquable participe de la diffusion des bonnes pratiques qui est au cœur de la mission de l'Association mondiale de la Route.

Je tiens à remercier M. Kare Rumar, de la Suède, et M. Peter Elsenaar, des Pays-Bas, qui lui a succédé à la présidence du Comité technique de la sécurité routière pendant la préparation du manuel, ainsi que les membres du Comité qui en ont rédigé les textes et les nombreux experts qui l'ont lu et commenté. L'ouvrage n'aurait pas vu le jour sans le travail considérable, que je salue ici, mené depuis 1998 par M. Carl Bélanger, du Canada-Québec, qui a coordonné la rédaction du manuel au sein du Comité.

L'achèvement du manuel n'aurait pas été possible sans le concours financier des gouvernements de la Suisse, de la Grèce, de la France, et surtout du Canada-Québec, dont l'apport en ressources humaines, financières et matérielles a été des plus précieux. Je les remercie ici pour leur générosité.

En terminant, je formule le vœu que chaque lecteur du manuel puisse en assurer la plus large diffusion possible et que l'application des principes qu'il renferme puisse contribuer à l'amélioration de la sécurité routière dans le monde.

Bonne lecture.

OLIVIER MICHAUD

Le président de l'Association mondiale de la Route (AIPCR),

MESSAGE DU SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE L'AIPCR

En cette année 2004, où l'Organisation mondiale de la Santé a choisi la sécurité routière comme thème de la Journée mondiale de la Santé, l'Association mondiale de la Route est fière d'apporter sa contribution à l'effort collectif d'amélioration de la sécurité routière.

Ce manuel, par la somme des connaissances qu'il présente, constitue un ouvrage de référence sans équivalent sur les différents aspects relatifs à l'infrastructure qui ont une incidence sur la sécurité routière. Ses auteurs ont voulu le concevoir sous la forme d'un outil pédagogique qui puisse aussi servir à la formation des étudiants et des professionnels. À cet égard, il est utile de souligner le caractère complémentaire des versions papier et sur cédérom, cette dernière comportant un ensemble de petits outils logiciels qui facilitent énormément la démonstration des applications numériques.

Cette première édition représente un investissement considérable que l'AIPCR se propose de développer, d'une part en assurant la révision et la mise à jour les sujets qui y sont abordés, d'autre part, en y traitant d'autres problématiques liées à la sécurité routière, comme celle du comportement des usagers de la route. Le prochain Comité technique sera aussi invité à réfléchir aux modifications qu'il serait utile d'y apporter dans une édition adaptée aux pays en développement.

Pour que les éditions futures de cet ouvrage puisse encore mieux répondre aux besoins de chacun, j'invite les lecteurs à nous faire part de leurs commentaires et de leurs suggestions et à faire un large usage du manuel, en particulier comme outil de formation.

Le secrétaire général de l'AIPCR,

JEAN-FRANÇOIS CORTÉ

INTRODUCTION

Avec plus d'un million de décès survenant à chaque année sur les routes et un bilan accidentel s'alourdissant à un rythme rapide au niveau mondial, il est clair que tous les organismes responsables se doivent d'intervenir rapidement et de prendre les actions nécessaires pour améliorer cette situation.

Une difficulté majeure, qui est partagée par les praticiens du domaine, est cependant liée à l'absence d'ouvrage synthèse reconnu, présentant un bilan des connaissances accumulées au cours des dernières décennies en matière de sécurité routière. Ces connaissances se trouvent en effet dispersées dans une multitude d'articles de périodiques spécialisés, de compendiums de congrès, de rapports de recherches et de plusieurs autres sources. Les informations qui y sont présentées contiennent parfois des éléments contradictoires, une situation pouvant être difficilement réconciliable par des analystes non experts. L'expérience montre clairement que ces personnes n'ont ni le temps ni les connaissances requises pour effectuer une synthèse de ces informations, ce qui conduit trop souvent à des décisions et des choix d'investissements non optimaux. La situation est d'autant plus problématique que ce sont généralement les pays ayant les pires bilans accidentels et où les besoins d'interventions sont les plus pressants, qui sont les plus démunis en termes de ressources spécialisées et d'outils de travail.

C'est sur la base de cette analyse de la situation que les membres du Comité de sécurité routière de l'Association mondiale de la Route ont initié le développement de ce manuel, l'objectif premier étant de rendre plus accessibles les acquis en matière de sécurité routière.

Le développement d'une telle synthèse des connaissances représente évidemment une tâche considérable et pour parvenir à un résultat à l'intérieur d'un délai raisonnable, il fut décidé de se concentrer, dans un premier temps, sur le volet infrastructure routière. Les lecteurs cibles de cette première version du manuel sont donc les ingénieurs et techniciens de la route, peu importe leur pays de pratique.

STRUCTURE DE L'OUVRAGE

La structure de base du manuel s'articule autour de 4 parties.

La première partie introduit le lecteur au domaine de la sécurité routière. On y traite de l'ampleur du problème, de stratégies générales de gestion de la sécurité routière et des principaux facteurs contribuant aux accidents. On s'assure ainsi que le lecteur ait une vision d'ensemble du problème, ce qui l'aidera à mieux comprendre les possibilités et les limites de son action.

La suite du manuel est consacrée plus directement au domaine de l'ingénierie routière et s'amorce, dans la deuxième partie, par la description d'un processus complet d'amélioration de l'infrastructure routière (de la collecte de données à l'évaluation après intervention). Le processus, tel que présenté, est adapté à l'analyse de points noirs, car il s'agit généralement du premier type d'action mise en œuvre par une administration routière pour améliorer la sécurité. On y explique cependant que les outils et méthodes proposés peuvent servir à l'analyse de sites de plus grande dimension (routes ou segments de routes, parties de réseaux) ou de patrons d'accidents anormaux. Il est clair que les actions pouvant être mises en œuvre par une administration routière pour améliorer la sécurité débordent amplement de la correction de points noirs.

Les analyses de sécurité s'appuient fortement sur les informations des rapports d'accidents, qui sont essentielles à une identification objective des problèmes et à une compréhension réelle des difficultés rencontrées par les usagers de la route. L'analyse de ces données se doit cependant d'être complétée par l'observation des caractéristiques physiques et opérationnelles de l'infrastructure. Le manuel distingue ainsi l'approche dite « réactive », qui s'appuie sur l'historique des accidents et celle dite « proactive » qui se base sur l'observation des caractéristiques de la route et de la circulation. On y explique comment utiliser conjointement ces deux approches, que ce soit à l'étape d'identification des problèmes (chapitre 5), de l'établissement des diagnostics de sécurité (chapitre 6) ou de l'évaluation des actions mises en œuvre (chapitre 8).

Les parties 3) et 4) du manuel se veulent très techniques et pratiques. La partie 3 décrit de façon détaillée la relation entre la sécurité et diverses composantes de la route (alignement horizontal, alignement vertical, surface de roulement, etc.). On y discute aussi des principales capacités et limites de l'humain devant être prises en compte par l'analyste afin de bien comprendre l'origine des problèmes rencontrés et d'être ainsi en mesure de proposer des correctifs appropriés. La partie 4 explique quant à elle, comment effectuer différents relevés techniques qui sont souvent requis lors d'analyses de sécurité : étude des vitesses instantanées, relevé de circulation, etc. Des procédures simples sont proposées et leur application est illustrée à l'aide d'exemples pratiques. Il existe un lien étroit entre le chapitre 6 du manuel portant sur le diagnostic de sécurité et les parties 3 et 4 qui contiennent des outils pratiques pour appuyer ces analyses.

Étant donné l'objectif visé et le lecteur cible, des efforts importants ont été investis pour simplifier et synthétiser l'information disponible, proposer une interface de présentation conviviale et développer plusieurs applications informatiques qui facilitent grandement l'utilisation des techniques décrites dans le manuel. La version cédérom de l'ouvrage est en conséquence beaucoup plus qu'une simple réplique électronique de la version papier car elle intègre de nombreux hyperliens et utilitaires de calculs automatisés. Le langage de programmation qui a été choisi pour effectuer ces développements libère le lecteur de toute contrainte logicielle. Seuls le système d'exploitation Microsoft Windows® et le lecteur Adobe Acrobat® Reader sont requis pour utiliser la version électronique du manuel (Adobe Acrobat® Reader peut être téléchargé gratuitement d'Internet) :

- chaque terme inscrit en **vert italique gras** dans le manuel est un hyperlien qui dirige le lecteur vers une partie pertinente de l'ouvrage;
- chaque appel d'utilitaire de calcul [NOM DE L'UTILITAIRE DE CALCUL ] permet au lecteur d'accéder à un aide de calcul automatisé.

Dans les deux cas, il suffit de cliquer avec la souris sur l'élément en question (bouton de gauche).

DÉVELOPPEMENTS FUTURS

Cette édition du manuel constitue un premier jalon vers le développement d'une référence de base en sécurité routière. Pour mériter pleinement ce titre, des développements supplémentaires restent cependant à effectuer.

Il faut d'une part, bonifier le volet « ingénierie routière » par l'addition de nouvelles fiches techniques décrivant la contribution de sécurité d'autres composantes de la route (Partie 3 du manuel). Comme la quasi-totalité des éléments de l'infrastructure routière ont une influence sur la sécurité, il faudra une fois de plus prioriser les développements et nous croyons qu'à cet égard, les problématiques rencontrées dans les pays en voie de développement devraient orienter ces choix. D'autre part, il faut aussi élargir le contenu actuel du manuel de façon à traiter plus directement des composantes autres que le génie routier ayant une influence sur la sécurité et des interactions entre ces différentes composantes (humain, route, véhicule).

Au rythme où évoluent les connaissances, il faut aussi prévoir des mises à jour régulières du manuel, afin de s'assurer que les informations qui y sont présentées demeurent pertinentes. Et il faudra finalement corriger les erreurs et omissions qui ont pu résister aux efforts des auteurs et des réviseurs. Nous espérons en ce sens que les commentaires constructifs des lecteurs contribueront à l'amélioration de l'ouvrage.

La mise en place des mécanismes permettant d'assurer la continuité et la pérennité de l'ouvrage représente donc un défi de taille à la fois pour la permanence de l'Association et pour les futurs membres du Comité technique de la sécurité routière.

NORMES

Différentes équations, exemples numériques de calculs et valeurs de paramètres recommandées dans certains pays ont été inclus au manuel pour en accroître l'aspect pratique. Il est clair que les normes nationales ont préséance sur l'une ou l'autre de ces valeurs. Cependant, l'observation de différences significatives entre les valeurs recommandées dans les normes d'un pays et celles indiquées dans ce manuel devrait à notre avis motiver une réflexion sur le sujet.

REMERCIEMENTS À L'ÉQUIPE DE DÉVELOPPEMENT

La rédaction du manuel a été entièrement assumée par un groupe d'experts motivés du Comité de sécurité routière de l'AIPCR qui ont cru en la nécessité de développer un tel ouvrage de référence et ont accepté de participer de façon entièrement bénévole à ce projet. Ils ont été assistés dans cette tâche par Patrick Barber, du Ministère des Transports du Québec, un collaborateur méthodique dont la contribution a été essentielle. Chaque auteur est clairement identifié à l'intérieur du manuel.

Les versions préliminaires de l'ouvrage ont traversé plusieurs étapes de révision. En plus des membres du Comité de sécurité routière de l'AIPCR, plusieurs experts externes ont ainsi contribué à bonifier les versions préliminaires du manuel en nous faisant part de leurs commentaires. Nous leur en sommes des plus reconnaissants : Marie Beauchemin, Leanna Belluz, Martin Bretherton, Thomas E. Bryer, Stéphane Campeau, Annie Canel, Philip J. Caruso, Paul de Leur, Gerry Forbes, Nathalie Gosselin, Eric Hildebrand, Geoffrey Ho, Paul Hunt, Mavis Johnson, Hari Kalla, Jean-François Leclerc, Martin E. Lipinski, José M. Pardillo Mayora, John Milton, Kim Nystrom, Richard F. Pain, Ronald Pfefer, Stanley F. Polanis, Bruce W. Robinson, Mike Skene, Rudolph M. Umbs et Steffen Wenk.

Nous remercions aussi tous les organismes et individus qui ont gracieusement accepté la publication dans le manuel de certains extraits des résultats de leurs travaux. Nous espérons avoir été exhaustifs dans les demandes d'autorisation mais nous excusons à l'avance de possibles omissions bien involontaires de notre part.

Un remerciement particulier doit être adressé au ministère des Transports du Québec, qui a investi des efforts considérables dans ce développement en prenant à sa charge l'équipe technique nécessaire à la réalisation de l'ouvrage. Il s'agit tout d'abord de collaborateurs de longue date, Sylvain Rhéaume et Benoît Tessier, qui ont effectué, avec leur efficacité habituelle, l'ensemble des développements informatiques associés à ce projet. Il s'agit aussi d'une équipe de graphistes compétents, composée principalement de Barbara Jacques, Sylvie Lemaire, Bernard Payeur et Stéphane Rioux. Le tout appuyé par un groupe de coordination et de direction qui ont su soutenir ce développement dans ses moments les plus critiques : Raymond Landry, Gilles Marquis, Gilles Sawyer, Guy Vaillancourt et Anne-Marie Leclerc, la première déléguée du Canada-Québec.

À un niveau plus personnel, je tiens aussi à remercier sincèrement ma conjointe, Jennifer et nos deux filles, pour leur incroyable compréhension et patience tout au long de ce projet. À partir de maintenant, Myriam et Lauren, vous n'aurez plus à me demander « Encore combien de temps avant que tu finisses... ».

Carl Bélanger
Coordonnateur du projet.
Le 23 avril 2004

Formation

Ce manuel peut être utilisé pour dispenser une formation en sécurité routière, dans le cadre d'un programme universitaire en génie routier ou de programmes de formation continue s'adressant aux professionnels du domaine.

- L'AIPCR autorise à cette fin l'utilisation d'une partie ou de l'ensemble de l'ouvrage, sous réserve des droits moraux et droits d'auteur et des interdictions concernant les reproductions illicites.

Pour favoriser ces actions de formation, l'AIPCR consentira des tarifs préférentiels pour l'achat en nombre de manuels à cette fin. Les personnes ou organismes intéressés sont invités à communiquer avec l'AIPCR, en précisant dans leur demande :

- le type de formation envisagée (cours universitaire de premier, deuxième ou troisième cycle, formation continue, autres);
- la clientèle cible (ingénieurs, techniciens, autres);
- le nombre de participants.

Pour assurer la plus large diffusion possible des connaissances, l'AIPCR n'accordera aucune licence d'exclusivité relative à l'organisation d'actions de formation fondées sur le présent manuel.

Mise en garde

Les auteurs de cet ouvrage se sont efforcés de présenter un juste état des connaissances tel qu'il existait au moment de sa parution, cependant ni leur responsabilité, ni celle de l'AIPCR ne saurait être engagée en aucune façon quant aux conséquences qui pourraient résulter de son utilisation. C'est donc au lecteur qu'il revient de s'assurer de la pertinence et de la justesse des actions qu'il entreprend.

PARTIE 1

Introduction à la sécurité routière

CHAPITRE 1

Ampleur du problème

Goff Jacobs

CHAPITRE 1

Ampleur du problème

	Page
1.1 HISTORIQUE	6
1.2 TRAUMATISMES ROUTIERS	6
→ 1.2.1 Estimation des décès	7
→ 1.2.2 Estimation des blessés	9
→ 1.2.3 Prévisions du nombre de décès	9
1.3 COÛTS ÉCONOMIQUES DES ACCIDENTS ROUTIERS	9
→ 1.3.1 Résultats des méthodes d'évaluation des coûts des accidents	10
1.4 ANALYSES PAR RÉGIONS	11
→ 1.4.1 Taux et tendances	12
→ 1.4.2 Profil des accidents	12
1.5 SOMMAIRE	16
1.6 CONCLUSION	17
RÉFÉRENCES	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1	Changements dans les 10 principales causes de décès ou d'invalidité	6
Figure 1-2	Estimation des décès routiers par région (1999)	7
Figure 1-3	Décès et véhicules (%)	8
Figure 1-4	Taux de mortalité (décès/10 000 véhicules automobiles immatriculés)	13
Figure 1-5	Risque de mortalité (décès/100 000 habitants)	13
Figure 1-6	Tendances récentes	14
Figure 1-7	Proportion des piétons parmi les personnes décédées	15

LISTE DES TABLEAUX

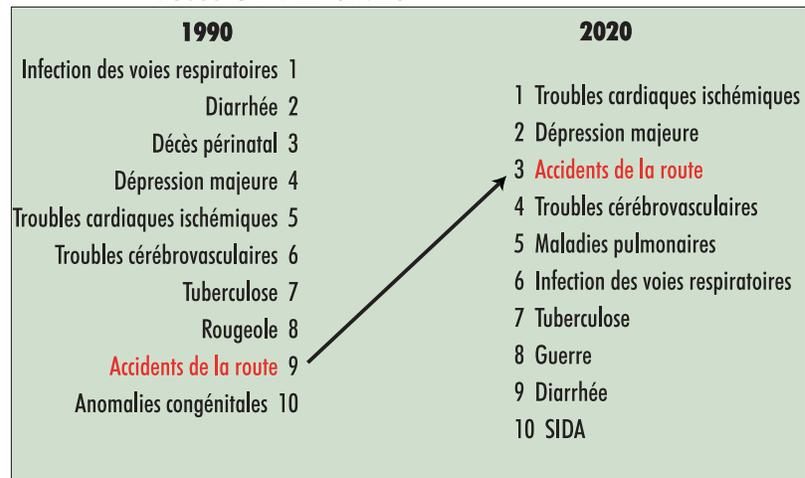
Tableau 1-1	Estimation des décès de la route, corrigée pour les accidents non rapportés (ANR) (1999)	7
Tableau 1-2	Coûts des accidents de la route, par région (1997)	11
Tableau 1-3	Proportion d'enfants de moins de 15 ans dans les accidents mortels	16

1.1 HISTORIQUE

Le premier décès causé par un véhicule automobile serait survenu à Londres en 1896. On estime que depuis, les accidents de la route ont fait 30 millions de morts. Les autorités de tous les pays du monde ou presque s'inquiètent aujourd'hui du nombre de tués et de blessés sur les routes et des pertes sociales et économiques qui y sont associées.

Alors que la lutte contre les maladies infectieuses connaît des succès grandissants, l'importance relative du nombre de traumatismes routiers s'accroît. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et la Banque mondiale ont estimé qu'en 1990 les accidents de la route venaient au neuvième rang, sur un total de plus de cent causes distinctes connues de décès ou d'invalidité (Murray et Lopez, 1996). On prévoit que d'ici 2020, ils occuperont la deuxième place sur le plan des « années de vie perdues », la troisième place sur le plan des « années en bonne santé perdues »¹ et enfin la sixième place sur le plan des mortalités (figure 1-1).

Figure 1-1 Changements dans les 10 principales causes de décès ou d'invalidité



Source : www.grsproadsafety.org

La situation s'améliore lentement dans les pays à revenu élevé (les décès sur la route ont diminué de 10 % en moyenne dans les pays de l'OCDE entre 1986 et 1996), mais elle se détériore dans la plupart des pays en développement, comme le montrent les analyses régionales qui suivent. Les experts internationaux en sécurité routière, y compris les membres du comité de sécurité routière de l'AIPCR, estiment que c'est là un prix trop élevé à payer pour faciliter la mobilité des personnes et des marchandises dans ces pays. De l'avis de ces spécialistes, les pays en développement disposent de nombreuses possibilités pour améliorer leur situation en matière de sécurité routière au fur et à mesure de leur industrialisation. Nous espérons que ce Manuel pourra contribuer à cette amélioration.

Nous souhaitons aussi qu'il sera utile aux spécialistes en sécurité routière des pays développés où, malgré des progrès continus, quelque 110 000 personnes meurent encore chaque année dans des accidents de la route.

1.2 TRAUMATISMES ROUTIERS

Malgré les problèmes reconnus de fiabilité de données et d'accidents non rapportés, l'évaluation de l'ampleur du problème à l'échelle mondiale doit s'appuyer sur les statistiques officielles publiées, qui sont elles-mêmes basées sur les rapports de police de chaque pays. Dans une étude réalisée pour le compte du GRSP² (Jacobs et al., 2000), les statistiques disponibles ont été bonifiées par :

1. une mise à jour, jusqu'à 1999, de la dernière année des statistiques d'accidents disponibles;
2. des estimations, pour les pays où aucune donnée sur les décès n'était disponible;
3. des ajustements permettant d'assurer l'uniformité de la définition « décès à 30 jours » pour tous les pays;
4. un ajustement des données officielles pour prendre en compte les cas d'accidents non rapportés.

La suite de ce chapitre s'appuie sur cette étude produite pour le GRSP et il en partage les mises en garde, les forces et les faiblesses.

¹ Le nombre d'années de vie perdues pour cause de décès prématuré de même que les années vécues avec une incapacité, corrigées en fonction de la gravité de l'incapacité.

² Global Road Safety Partnership (GRSP).

Il n'existe pas de nomenclature officielle de regroupements régionaux au sein des nombreuses organisations internationales qui oeuvrent dans le domaine de la sécurité routière. Pour faciliter l'interprétation des données, un total de 192 pays ont été répartis dans les six régions suivantes :

- Afrique subsaharienne;
- Asie-Pacifique;
- Europe centrale et orientale (ECO);
- Amérique latine/centrale et les Caraïbes (ALC);
- Moyen-Orient et Afrique du Nord (MOAN);
- Pays fortement motorisés (PFM) : Amérique du Nord, Australie, Nouvelle-Zélande, Japon et Europe occidentale.

L'expression « pays moins motorisés » (PMM) ou pays en développement désigne les cinq premières régions où la motorisation est généralement très inférieure à celle des pays fortement motorisés (PFM).

1.2.1 ESTIMATION DES DÉCÈS

Un estimé réaliste situe le nombre de décès résultant d'accidents de la route dans le monde entre 750 000 et 880 000 en 1999. Les calculs et résultats régionaux sont présentés au tableau 1-1 et à la figure 1-2. En mettant à jour ces chiffres, on estime que le nombre de décès dans des accidents de la route aurait fort bien pu se situer, à l'échelle mondiale, entre 800 000 et 950 000 en 2002.

Tableau 1-1 Estimation des décès de la route, corrigée pour les accidents non rapportés (ANR) (1999)

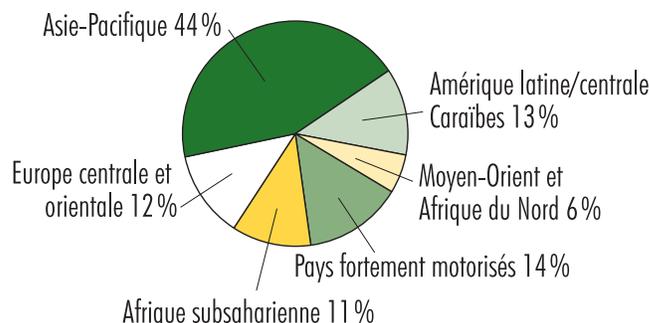
	ESTIMÉ 1999	DÉCÈS À 30 JOURS		ESTIMÉS ANR MODÉRÉS		ESTIMÉS ANR ÉLEVÉS	
			AJUSTEMENT FACTEUR ESTIMÉ		AJUSTEMENT FACTEUR ESTIMÉ		AJUSTEMENT FACTEUR ESTIMÉ
PAYS FORTEMENT MOTORISÉS (PFM)	98 834	CEMT ^a	105 654	1,02	107 767	1,05	110 937
ASIE-PACIFIQUE	228 405	1,15 ^b	262 666	1,25	328 332	1,50	393 999
EUROPE C/O (ECO)	63 540	1,15 ^b	73 071	1,25	91 339	1,50	109 607
AMÉRIQUE LATINE/CENTRAL ET LES CARAÏBES (ALC)	64 699	1,15 ^b	74 404	1,25	93 005	1,50	111 606
AFRIQUE SUB-SAHARIENNE	58 319	1,15 ^b	67 067	1,25	83 834	1,50	100 600
MOYEN-ORIENT/ AFRIQUE DU NORD (MOAN)	28 864	1,15 ^b	33 194	1,25	41 492	1,50	49 790
MONDIAL	542 661		616 056		745 769		876 539

^a Corrections recommandées par la Conférence Européenne des Ministres des Transports pour les pays qui n'utilisent pas la définition normalisée d'un décès survenu dans les 30 jours suivant l'accident.

^b Facteur de correction pour tenir compte du fait que les pays en développement sont enclins à ne pas utiliser la règle du 30 jours.

Dans certains pays, on observe des différences importantes entre les statistiques officielles (de la police) et les renseignements obtenus d'autres sources. Ainsi, aux Philippines, sur cinq décès consécutifs à un accident de la route qui sont rapportés par le système hospitalier, un seul apparaît dans les statistiques de la police (Organisation Mondiale de la Santé, 1999)³. En Indonésie, les compagnies d'assurance rapportent presque 40 % plus de décès que la police. En 1995, le ministère de la Santé de Taiwan a rapporté quelque 130 % de décès de plus que la police (Lu et al., 1999).

Figure 1-2 Estimation des décès routiers par région (1999)



³ Organisation Mondiale de la Santé, en anglais: World Health Organisation.

À Karachi au Pakistan, selon une étude comparant le nombre d'accidents de la route rapportés par la police et les statistiques des entreprises ambulancières, la police n'enregistrait qu'environ la moitié des décès dans des accidents de la route (Razzak et Luby, 1998). Le problème semble également important en Chine, où le nombre rapporté de décès dans des accidents de la route est déjà le plus élevé au monde. Ainsi, selon le Beijing Research Institute of Traffic Engineering, le nombre réel de décès dans des accidents de la route était d'environ 111 000 personnes en 1994, ce qui est supérieur de plus de 40 % aux 78 000 cas enregistrés officiellement par la police (Liren, 1996).

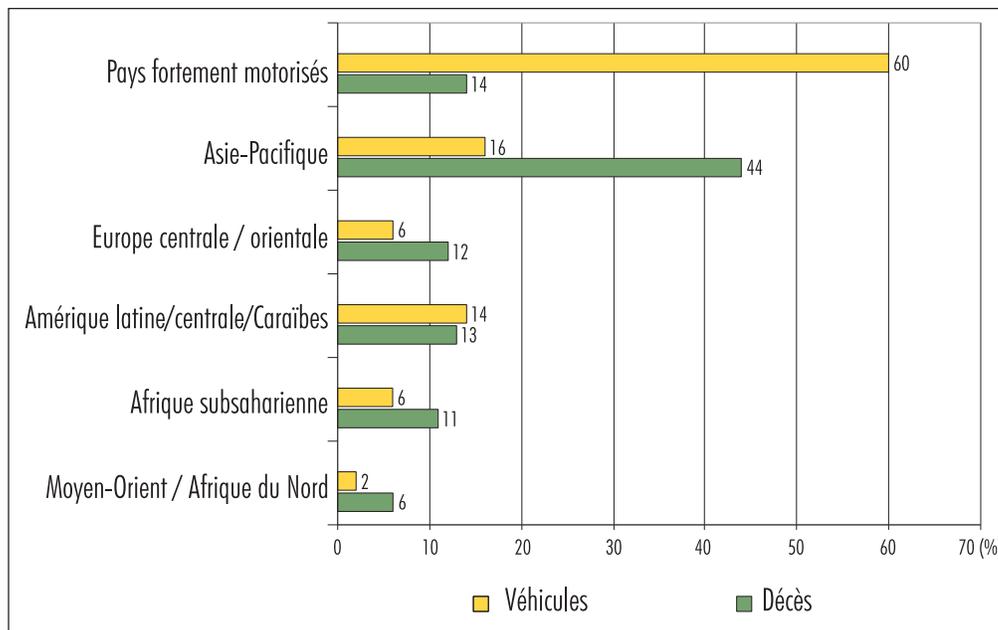
Plusieurs études indiquent que le nombre de personnes décédées dans des accidents de la route qui sont non rapportés est minime dans les pays développés – entre 2 % et 5 % – (James, 1991, et Simpson, 1997) alors que des facteurs de correction variant entre 25 % et 50 % doivent être appliqués dans les pays en développement.

Le nombre de décès dans des accidents de la route est le plus élevé dans les pays moins motorisés (PMM), où surviennent 86 % de tous les décès routiers dans le monde et principalement en Asie, qui compte pour près de la moitié de tous ces décès. La figure 1-2 illustre la distribution par région des 750 000 décès, ce qui constitue l'estimé minimal suggéré pour 1999.

La figure 1-3 compare les distributions régionales des décès dans des accidents de la route et les pourcentages de véhicules immatriculés. Les PFM, où circulent 60 % de l'ensemble des véhicules, comptent pour seulement 14 % des décès routiers. En comparaison, l'Asie-Pacifique compte pour seulement 16 % des véhicules immatriculés mais environ 44 % des décès. L'Europe centrale et orientale, l'Afrique et le Moyen-Orient montrent des tendances similaires. L'Amérique latine/centrale et les Caraïbes est la seule région en développement où les proportions de décès de la route et du nombre de véhicules, sont presque identiques.

Dans les pays développés, le nombre de décès dans des accidents de la route a chuté depuis une quinzaine d'années, mais quelque 110 000 personnes y meurent encore chaque année. Par exemple, même au Royaume-Uni et au Japon, où les taux de décès dans des accidents de la route sont particulièrement faibles, le pourcentage de piétons qui décèdent est encore trop élevé. En conséquence, il y a lieu de poursuivre les efforts et de procéder à des investissements soutenus pour que le nombre de décès dans des accidents de la route continue à décliner.

Figure 1-3 Décès et véhicules (%)



1.2.2 ESTIMATION DES BLESSÉS

Le nombre de blessés non rapportés est encore pire que le nombre de décès dans les accidents non rapportés. Toutefois, à partir d'un rapport de la Base de données internationales sur la circulation et les accidents de la route (Base de données Internationale sur la Circulation et les Accidents de la Route, 1994)⁴ et d'études antérieures, il a été décidé d'appliquer un ratio de 100 blessés pour chaque décès dans les PFM. Dans le cas des PMM, on estime que l'application d'un ratio de 20 à 30 constitue un minimum. Ces valeurs permettent d'estimer que le nombre de blessés dans des accidents de la route, en 1999, était d'au moins :

- 11 millions de personnes dans les PFM;
- 12 à 23 millions de personnes dans les PMM.

On estime donc qu'à l'échelle mondiale, le nombre annuel de blessés dans des accidents de la route se situe entre 23 et 34 millions de personnes, ce qui est environ deux fois supérieur aux estimations antérieures de la Banque mondiale et du GRSP. Le problème n'en est que plus inquiétant, surtout pour les pays en développement.

1.2.3 PRÉVISIONS DU NOMBRE DE DÉCÈS

Les prévisions du nombre de décès à l'échelle mondiale se heurtent à de nombreuses difficultés, les tendances du passé n'étant pas garantes de l'avenir. Certains pays, comme le Japon, ont connu une détérioration rapide de la sécurité routière dans les années soixante avec une hausse de 80 % des décès dans des accidents de la route, mais ont, dans la décennie suivante avec des investissements massifs, réduit ce nombre de près de 50 %. Cependant, les décès ont recommencé à augmenter au début des années quatre-vingts, ce qui est attribuable notamment à une hausse continue du nombre de propriétaires de véhicules automobiles et à une baisse des investissements dans des activités permettant de sauver des vies.

Les tendances dans plusieurs régions du monde ne sont pas stables, mais il semble que les augmentations rapides du nombre de décès en Afrique et Asie-Pacifique montrent des signes de ralentissement, même s'ils demeurent inquiétants (*section 1.4.1*).

Les changements sociaux et politiques sont aussi des facteurs qui devraient idéalement être pris en compte dans les prévisions. Ces changements sont toutefois difficiles à prévoir. Dans la région de l'ECO, par exemple, la transition vers une économie de marché s'est accompagnée de modifications dans les façons de rapporter les accidents. Depuis quelques années, les décès routiers ont diminué dans cette région, mais il demeure tout à fait possible qu'ils augmentent à nouveau avec le développement économique et la motorisation rapide.

Pour toutes ces raisons, la prudence s'impose en matière de prévision des tendances. Compte tenu de ces mises en garde, il apparaît probable que le nombre de décès dans des accidents de la route se situera entre 1,0 et 1,1 million d'ici 2010 et entre 1,1 et 1,3 million en 2020.

1.3 COÛTS ÉCONOMIQUES DES ACCIDENTS ROUTIERS

Outre l'aspect humanitaire, des raisons purement économiques devraient suffire à elles seules à justifier les actions visant à réduire le nombre de décès et de blessés de la route dans les pays en développement. Il s'agit en effet d'un problème qui accapare des ressources financières considérables. Cela dit, il ne faut pas oublier que dans ces pays, la sécurité routière n'est qu'un des nombreux problèmes qui réclament une part des ressources disponibles (financières et autres). Même au sein du secteur des transports et des routes, ces pays sont confrontés à des décisions difficiles quant à la partie des ressources pouvant être affectées à la sécurité routière. Pour les aider dans cette prise de décision, il est essentiel de mettre en œuvre des méthodes objectives d'établissement du coût des accidents de la route et de la valeur que représente leur prévention.

⁴ Base de données Internationale sur la Circulation et les Accidents de la Route, en anglais : International Road Traffic and Accident Databases.

Le besoin de données sur les coûts des accidents apparaît d'abord à l'étape de la planification nationale des ressources, afin de s'assurer qu'une juste part des budgets disponibles soit allouée à l'amélioration de la sécurité routière. Des estimations de coûts sommaires suffisent en général, pour autant qu'elles soient compatibles avec les secteurs concurrents.

L'estimation du coût des accidents de la route sert aussi à s'assurer que chaque investissement est utilisé aux meilleures fins possibles et que les actions de sécurité sont sélectionnées de façon à maximiser les avantages qui en résulteront par rapport à leur coût de mise en œuvre. À défaut d'associer des coûts spécifiques aux accidents de la route, on s'appuiera presque à coup sûr sur des critères très variables pour le choix ou l'évaluation des projets de sécurité routière. Et plus particulièrement, l'exclusion des avantages associés aux réductions d'accidents à l'étape de planification des transports, conduira inévitablement à un sous-investissement en sécurité routière.

Une étude réalisée en 1977 par Fouracre et Jacobs estimait que les accidents de la route coûtaient en moyenne 1 % du produit national brut (PNB) d'un pays. Plusieurs pays et agences d'aide internationale ont par la suite utilisé ce pourcentage pour estimer sommairement l'ampleur des coûts associés aux accidents de la route. Cependant, pour les pays plus développés, la Banque mondiale et d'autres organismes suggèrent - mais avec des preuves à l'appui limitées - d'utiliser des valeurs plus élevées, c.-à-d. 1% à 3 % du PNB.

L'estimation du coût des accidents en pourcentage du PNB constitue une méthode utile, bien que sommaire, à l'échelle mondiale ou régionale. Sur le plan national, les pays n'ont cependant guère d'autre choix que de procéder à une évaluation détaillée des coûts des accidents.

1.3.1 RÉSULTATS DES MÉTHODES D'ÉVALUATION DES COÛTS DES ACCIDENTS

L'étude du GRSP s'appuie sur les résultats de 21 études internationales portant sur l'établissement du coût des accidents de la route (une pour l'Amérique latine et centrale, sept pour l'Asie, quatre pour l'Afrique, une pour le Moyen-Orient et huit pour les pays fortement motorisés).

Cette étude a montré que l'ensemble des pays en développement utilisaient la méthode du « capital humain » alors que la majorité des pays développés utilisent désormais l'approche de la « disposition à payer »⁵.

Les valeurs obtenues à partir des coûts des accidents sur le plan national (généralement pour 1995 ou 1996) étaient exprimées en pourcentage du PNB pour les différents pays. Les résultats se situaient entre 0,3 % au Vietnam et 0,5 % au Népal et au Bangladesh et à plus de 4 % en Nouvelle-Zélande, au Malawi et au Kwa Zulu - Natal. Toutefois, le niveau de précision des méthodes d'évaluation utilisées dans chaque pays est assez peu connu. Ainsi, ignore si le nombre des accidents non rapportés a été pris en compte, si les accidents matériels ont été évalués, si des sommes (le cas échéant) ont été ajoutées pour prendre en compte les peines et les souffrances physique et morale quand la méthode du « capital humain » a été utilisée, etc. Dans l'ensemble, il appert que dans la plupart des pays les coûts sont supérieurs à 1 % du PNB. Les chiffres indiquent aussi que les coûts en pourcentage du PNB peuvent être moins élevés dans les pays moins développés. Il y aurait lieu d'être prudent avant de relever de façon significative la valeur de 1 % du PNB pour ces pays.

⁵ Ce sont les deux seules méthodes d'estimation des coûts des accidents de la route aujourd'hui considérées acceptables par les spécialistes du domaine. Toutes deux incluent le coût des ressources - coûts de réparation des véhicules, frais médicaux, frais administratifs, etc. - et un estimé des coûts de production perdue pour les personnes blessées ou décédées dans les accidents de la route. L'approche du capital humain inclut aussi un montant pour refléter les peines et les souffrances des personnes blessées ou tuées, ainsi que celles de leurs proches. À l'inverse, l'approche de la disposition à payer se base sur les résultats d'un questionnaire complexe pour inclure au coût des accidents, une valeur qui reflète le montant que ceux collectivement affectés seraient prêts à payer pour réduire le risque perçu d'une valeur donnée. Pour une critique des méthodes d'évaluation du coût des accidents de la route, le lecteur est invité à consulter la Commission des Communautés européennes (1994) et Elvik (1995).

Le tableau 1-2 qui suit donne une estimation sommaire de l'ensemble des coûts à l'échelle mondiale et régionale en supposant que le coût annuel des accidents de la route correspond à 1 % du PNB dans les pays en développement, 1,5 % dans les pays en transition et 2 % dans les pays fortement motorisés. Il indique que les coûts des accidents de la route peuvent être de quelque 65 milliards \$US dans les pays en développement et en transition et de 453 milliards \$US dans les pays fortement motorisés, pour un total de 517 milliards \$US à l'échelle mondiale.

Tableau 1-2 Coûts des accidents de la route, par région (1997)

RÉGION	PNB RÉGIONAL 1997 (\$US)	ESTIMATION DU COÛT ANNUEL DES ACCIDENTS	
		% DU PNB	COÛT (MILLIARDS \$US)
PAYS FORTEMENTS MOTORISÉS (PFM)	22 665	2,0	453,0
ASIE-PACIFIQUE	2 454	1,0	24,5
EUROPE CENTRALE/ORIENTALE	659	1,5	9,9
AMÉRIQUE LATINE/CENTRALE ET LES CARAÏBES (ALC)	1 890	1,0	18,9
AFRIQUE SUBSAHARIENNE	370	1,0	3,7
MOYEN-ORIENT/AFRIQUE DU NORD (MOAN)	495	1,5	7,4
TOTAL			517,4

Les sommes totales reçues par les pays bénéficiaires à titre d'aide officielle de la part de tous les organismes donateurs combinés (multilatéraux et bilatéraux)⁶ ont été estimées à quelque 50 milliards \$US par année (The Economist, juin 12th 1999). Il s'agit d'un montant inférieur à l'estimation précédente du coût annuel des accidents de la route dans ces pays. En d'autres termes, les pays en développement et les pays émergents perdent plus d'argent du fait des seuls accidents de la route qu'ils n'en reçoivent en aide officielle de tous les organismes donateurs réunis.

1.4 ANALYSES PAR RÉGIONS

Cette partie présente une analyse régionale sommaire des données d'ensemble décrites dans les sections précédentes :

- description de la situation actuelle pour les pays ayant le plus grand nombre de décès de la route dans chaque région;
- examen de l'évolution récente au niveau de la motorisation, des décès et de la population, par sous-région;
- informations sur les catégories de victimes d'accidents de la route, y compris les types d'usagers, leur âge et leur sexe.

Plusieurs indicateurs sont utilisés pour définir la gravité de l'état de la situation puisqu'il n'existe pas d'indicateur, pouvant à lui seul, décrire avec exactitude cette situation.

L'indicateur le plus fréquemment utilisé dans les pays fortement motorisés est le nombre d'accidents avec blessés par million de véhicules-kilomètres – qui relie clairement les accidents survenus à un degré d'exposition au trafic routier – mais peu de pays en développement disposent de données sur l'usage des véhicules. En remplacement, la Banque mondiale et d'autres organismes ont utilisé le taux de mortalité (nombre de décès rapportés par 10 000 véhicules motorisés), pour comparer les performances de sécurité routière de divers pays.

Il se peut, toutefois, qu'un pays donné accorde une moindre importance au taux de mortalité qu'au nombre réel de décès survenus. Le risque de mortalité (nombre de décès rapportés par 100 000 habitants) est l'indicateur le plus communément utilisé par le secteur de la santé pour hiérarchiser les maladies et les autres causes de décès.

On trouvera donc dans cette section à la fois les taux et les risques de mortalité.

⁶ Une aide bilatérale consiste en un partenariat entre les gouvernements de deux pays. Une aide multilatérale est consentie par les gouvernements de plusieurs pays et distribuée par des organisations internationales (p. ex. Nations-Unies, Banque mondiale, Banque asiatique de développement).

1.4.1 TAUX ET TENDANCES

C'est dans les pays développés que les taux de mortalité (décès par 10 000 véhicules) sont les plus bas, entre 1,1 et 5,0. Dans les pays africains (en particulier l'Éthiopie, le Lesotho et la Tanzanie) les taux de mortalité sont les plus élevés, souvent au-delà de 100 (figure 1-4). Le risque de mortalité (décès par 100 000 habitants) est le plus élevé dans un groupe varié de pays, qui inclue la Malaisie, la Corée, la Lettonie, l'Arabie saoudite et la Colombie (figure 1-5). Comme on pouvait s'y attendre, les taux dans les pays de l'Europe centrale et orientale sont plus près de ceux des pays de l'Europe occidentale que de ceux des pays d'Afrique, d'Asie ou d'Amérique latine.

Une des principales différences entre les pays développés et les pays en développement est que depuis le milieu des années 1980, le nombre de décès routiers a chuté d'environ 10 % en Europe occidentale et en Amérique du Nord, alors qu'il a continué de croître en Afrique, en Asie-Pacifique et en Amérique latine/centrale et les Caraïbes.

La figure 1-6 montre l'évolution des décès dans des accidents de la route, de la population et du parc automobile pour diverses régions du monde. L'examen de tendances régionales dans un groupe composé d'un nombre restreint de pays, peut être fortement influencé par les changements observés à l'intérieur du pays le plus important. Pour éviter ce type de situation, les tendances observées aux États-Unis, en Chine, en Afrique du Sud, en Pologne, au Brésil et en Arabie saoudite ont été présentées séparément. Très visiblement, les tendances de mortalité en Afrique du Sud et en Pologne diffèrent de celles des autres pays d'Afrique et d'Europe orientale respectivement. Ailleurs, les tendances observées dans le plus important pays sont raisonnablement similaires à celles observées dans les autres pays. Ainsi, de 1987 à 1995, les décès ont augmenté de 39 % en Asie-Pacifique, de 26 % en Afrique, de 36 % au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (MOAN) et de plus de 100 % en Amérique latine/centrale et Caraïbes (Brésil exclu). En Europe centrale et orientale, la différence est marquée entre la Pologne, où les décès ont augmenté de 31 % et les autres pays où ils ont chuté de 36 %.

Selon une étude antérieure qui portait sur la période 1968-1990 (Ghee et al, 1997), les accidents de la route ont augmenté en moyenne d'environ 350 % dans les pays africains (pour lesquels des données étaient disponibles) et de plus de 200 % en Asie. À l'inverse, ces décès ont chuté d'environ 20 % dans les pays développés durant cette même période. Il y a donc lieu de croire que la hausse rapide des décès dans des accidents de la route en Afrique et en Asie pendant les années soixante-dix et le début des années quatre-vingts est en voie de ralentir, mais les problèmes dans ces régions demeurent préoccupants.

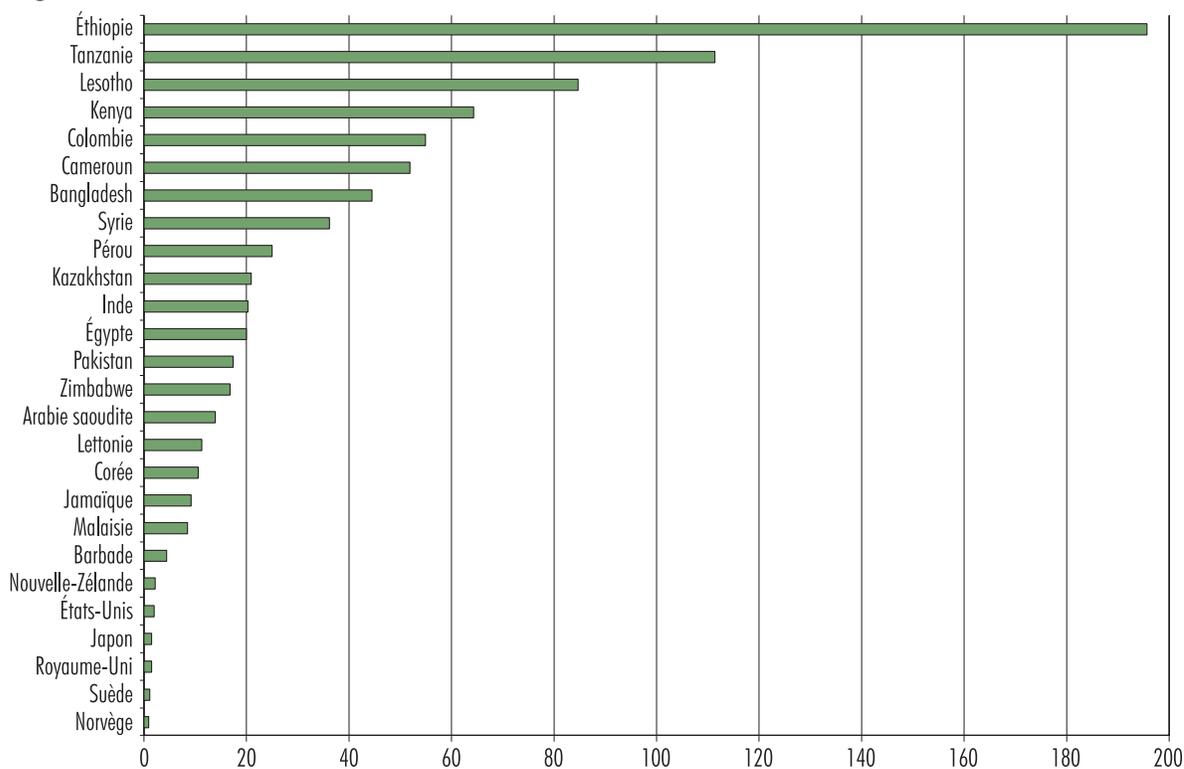
1.4.2 PROFIL DES ACCIDENTS

Une des causes des taux élevés de mortalité dans les pays en développement est le fait qu'une plus grande proportion de piétons y décède par rapport aux pays fortement motorisés. Bien sûr, les piétons n'ont aucune protection et sont les usagers de la route les plus vulnérables.

La figure 1-7 montre la proportion des décès dans des accidents de la route impliquant des piétons, pour quatre régions : pays fortement motorisés, Europe orientale, Afrique subsaharienne et Asie-Pacifique.

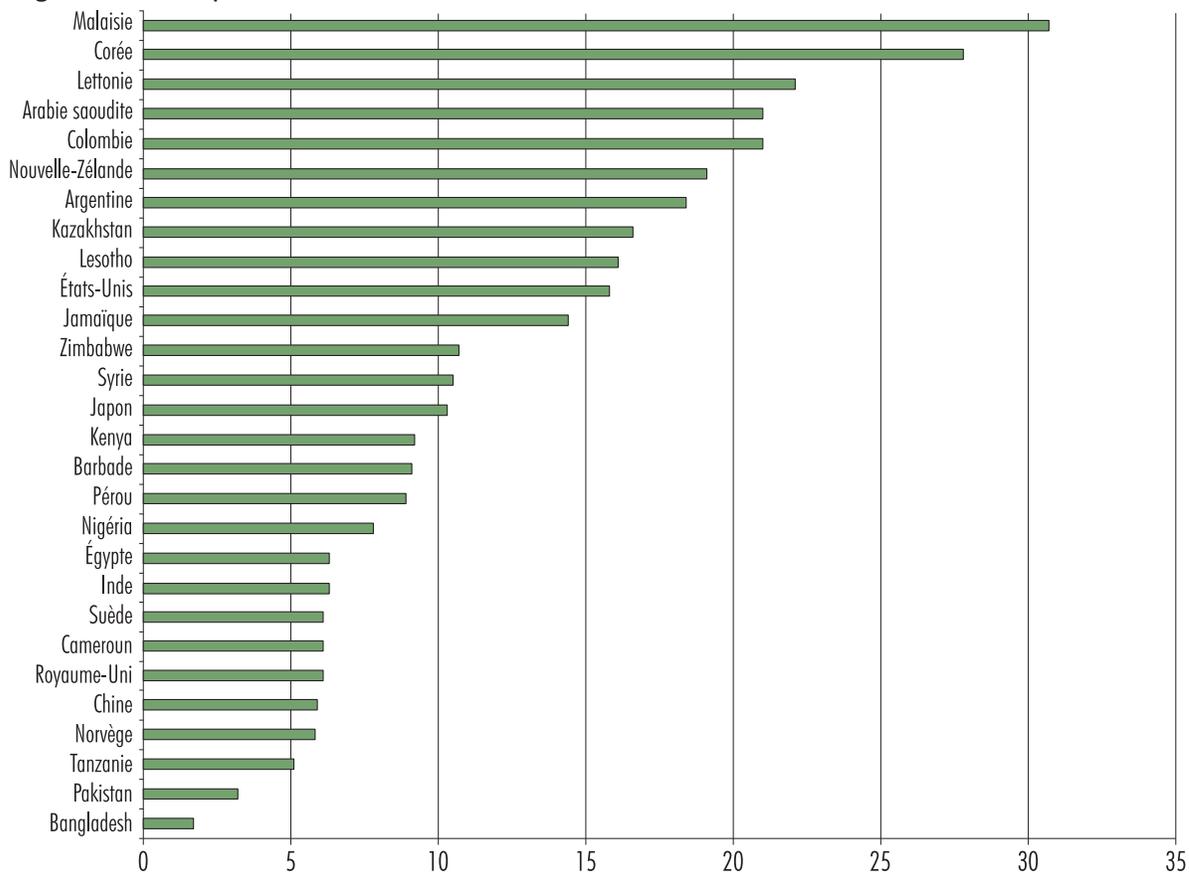
C'est dans les pays fortement motorisés que le pourcentage de piétons décédés est le plus bas, se situant généralement entre 12 % et 20 %. Le Japon et le Royaume-Uni, dont les taux de mortalité globaux sont parmi les plus faibles du monde, ont des pourcentages de piétons décédés étonnamment élevés. Les décès de piétons sont plus nombreux en Europe orientale, où ils représentent de façon assez stable, entre 30 % et 42 % du total des décès. Les taux chez les piétons sont élevés aussi partout en Afrique, où ils représentent généralement entre 40 % et 50 % du total des décès.

Figure 1-4 Taux de mortalité (décès/10 000 véhicules automobiles immatriculés)^a



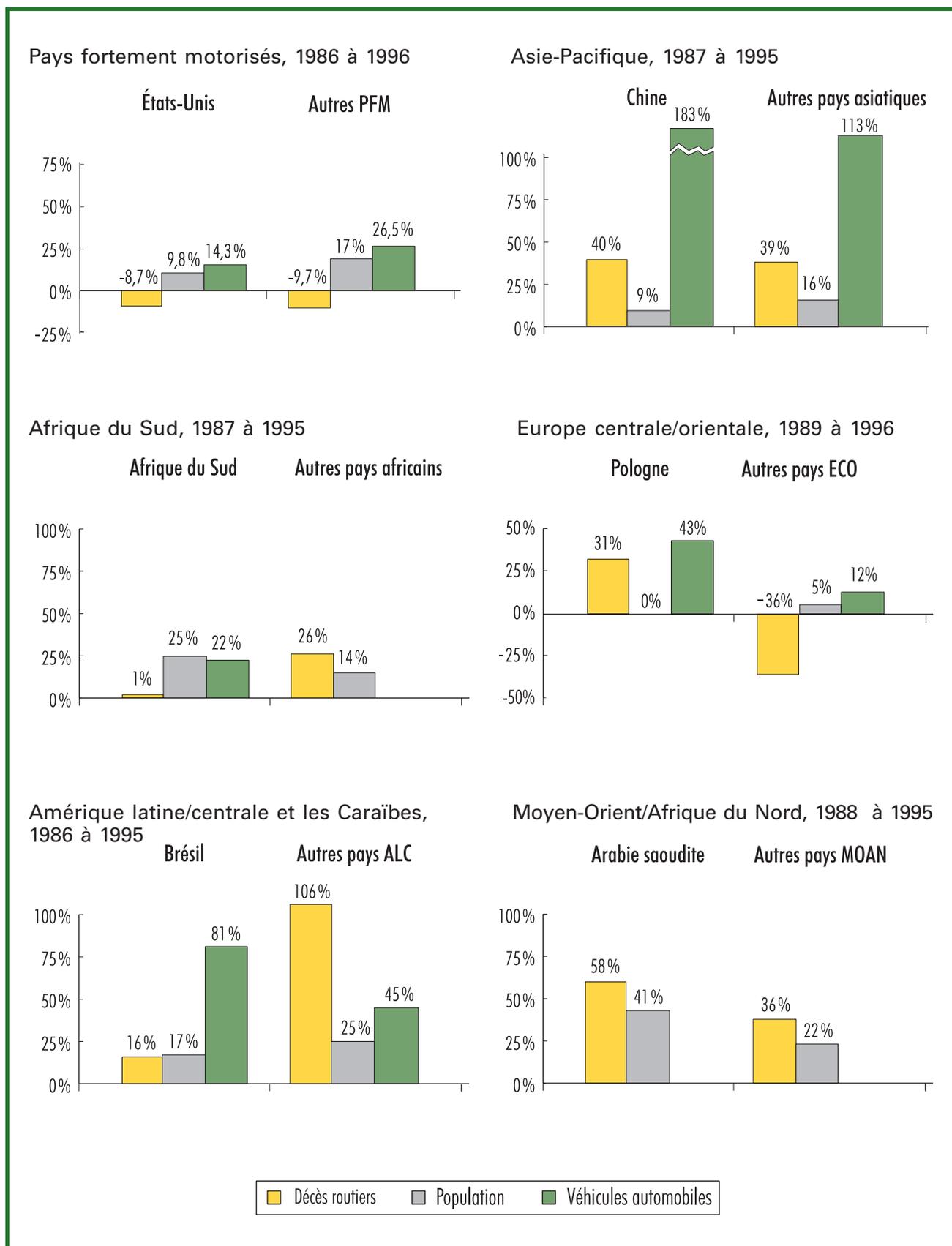
^a 1997 ou dernière année disponible

Figure 1-5 Risque de mortalité (décès/100 000 habitants)^b



^b 1997 ou dernière année disponible

Figure 1-6 Tendances récentes



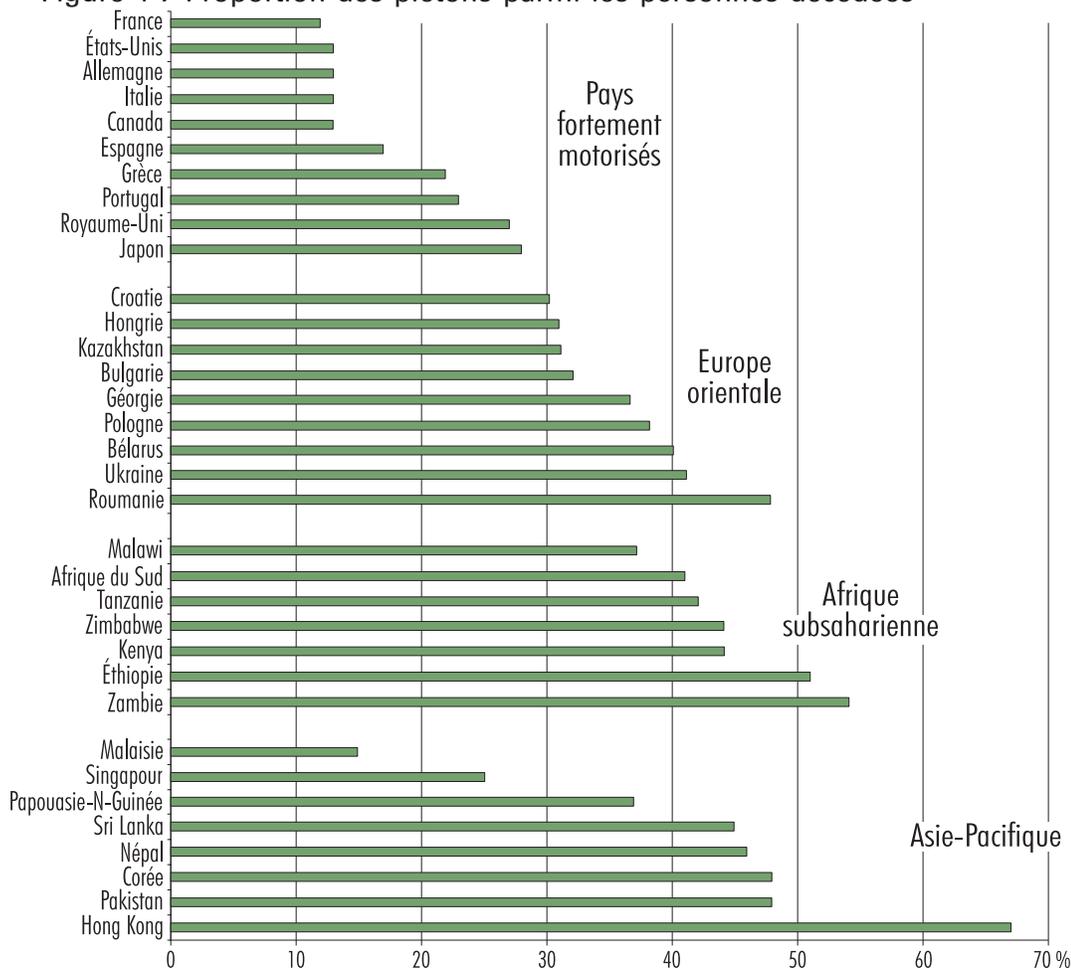
Les variations les plus grandes dans les taux de mortalité des piétons se situent dans les pays de la région Asie-Pacifique. Ainsi, on pourrait s'attendre par exemple, à des taux similaires à Hong Kong et à Singapour mais tel n'est pas le cas. On trouve aussi des différences importantes entre la Malaisie et la Corée, deux pays bien développés et assez fortement motorisés.

En Asie, lorsque les décès de piétons, d'occupants de véhicules non motorisés et de motocyclistes sont regroupés dans la catégorie « usagers de la route vulnérables » (URV), ils représentent une proportion importante de toutes les personnes décédées : 80 à 90 % des décès à Hong Kong, à Singapour, en Malaisie et à Taiwan, et quelque 50 % à 60 % des décès au Fidji et en Corée.

L'analyse des décès selon le sexe révèle des écarts importants entre les pays (et même au sein des régions) :

- les tendances générales indiquent que les femmes sont plus souvent impliquées dans des accidents non mortels que mortels, peut-être parce qu'elles ont tendance à être blessées dans des accidents en milieu urbain, où les véhicules roulent moins vite;
- de façon générale, une proportion plus importante de femmes est impliquée à la fois dans des accidents mortels et non mortels dans les pays à revenu plus élevé;
- cependant, une recherche effectuée en Angleterre montre que dans les pays en développement, les conséquences d'un accident grave sont pires pour les femmes que pour les hommes (Ghee et al, 1997). On investit souvent moins dans le traitement médical et le rétablissement des femmes alors qu'elles sont beaucoup moins nombreuses, proportionnellement, à recevoir des soins hospitaliers complets. En outre, si leur mari est décédé, leur statut légal de veuve est souvent défavorable et peut signifier l'éclatement de la famille.

Figure 1-7 Proportion des piétons parmi les personnes décédées



L'analyse de la proportion des blessés et des décès selon l'âge révèle que les jeunes subissent plus d'accidents en Afrique, en Asie et au Moyen-Orient que dans les PFM. Le tableau 1-3 illustre, à partir d'études diverses, l'évolution dans le temps de la proportion des accidents routiers mortels avec des enfants de moins de 15 ans. Il indique un léger déclin de cette proportion, autant dans les pays en développement que dans les pays développés.

Tableau 1-3 Proportion d'enfants de moins de 15 ans dans les accidents mortels

ANNÉE	PAYS EN DÉVELOPPEMENT	PAYS DÉVELOPPÉS
	%	%
1982	20,0	10,0
1990	15,2	6,0
1998	15,0	5,2

Dans les pays en développement, les moins de 15 ans constituent de façon régulière une proportion plus élevée de la population nationale que dans les pays développés. Toutefois, la proportion de jeunes victimes d'accidents de la route est, dans certains pays, encore plus grande que ce que l'on pourrait attendre du profil de la population. Ainsi, dans les pays en développement, les jeunes piétons semblent particulièrement vulnérables.

Sur le plan de la population active, on note une prédominance dans les accidents du groupe des 25-40 ans et ce, dans toutes les régions où des données étaient disponibles. Ce qui n'est pas sans conséquence sociale dans les pays en développement. Quand, par exemple, un ménage perd son gagne-pain principal dans un accident de la route, la famille a de fortes chances de se retrouver sans revenu parce qu'elle ne peut bénéficier d'une couverture d'assurance ou d'un régime de retraite.

Les accidents d'autobus sont particulièrement importants dans les pays en développement. Ainsi, dans les PFM, les autobus sont impliqués 3 % à 5 % des accidents avec blessés. En comparaison, dans certaines régions (principalement urbaines) du Pakistan, du Nigéria et de l'Inde, les autobus sont impliqués dans 20 % à 40 % des accidents. Les accidents avec autobus représentent de 14 % à 20 % du total au Sri Lanka, au Kenya et en Papouasie Nouvelle-Guinée. Dans trois pays africains, le taux d'accidents avec autobus est jusqu'à quatre fois supérieur à la proportion du parc qu'ils représentent. La proportion élevée des autobus dans les accidents dans les pays en développement s'explique probablement par un certain nombre de facteurs qui incluent des normes de conduite déficientes, un entretien inadéquat et la surcharge des véhicules. Il s'agit là d'une différence importante entre les pays développés et les pays en développement ou en émergence.

Dans les PFM, le principal problème est celui des conducteurs jeunes ou inexpérimentés et les actions visent à réduire leurs taux d'accidents. Dans les pays en développement, la question clé devrait porter davantage sur l'amélioration des normes des conducteurs « professionnels », c.-à-d. les chauffeurs d'autobus et de camions.

1.5 SOMMAIRE

Ce chapitre a décrit l'ampleur et la nature des problèmes de sécurité routière à l'échelle mondiale ainsi que les différences majeures entre les pays développés (fortement motorisés) et les pays en développement (moins motorisés). En résumé :

- on estime qu'en 2002, entre 800 000 et 950 000 personnes ont succombé dans des accidents de la route et que la majorité de ces décès sont survenus dans des pays en développement ou en émergence, dont environ la moitié dans la seule région Asie-Pacifique;
- on s'attend à ce que le nombre de décès dans des accidents de la route continue de croître pour se situer entre 1,0 et 1,1 million en 2010 et entre 1,1 et 1,3 million en 2020;

- à l'échelle mondiale, le coût des accidents de la route était de quelque 520 milliards \$US en 1997, dont 65 milliards \$US pour les régions en développement;
- dans les pays en développement, le nombre total de décès dans des accidents de la route continue d'augmenter alors que dans les pays fortement motorisés, on observe une réduction régulière depuis la fin des années soixante. Toutefois, le taux d'augmentation de la mortalité dans les pays en développement semble ralentir, surtout en Afrique;
- les taux de mortalité les plus élevés (décès par 10 000 véhicules automobiles) sont dans les pays africains, surtout l'Éthiopie, la Tanzanie et le Lesotho. Les risques de mortalité les plus élevés (décès par 100 000 habitants) sont dans un groupe varié de pays qui incluent la Malaisie, la Corée et l'Arabie saoudite;
- les piétons constituent un groupe particulièrement vulnérable partout en Afrique, en Asie et au Moyen-Orient. Dans les pays développés, les occupants d'une automobile sont les victimes les plus fréquentes d'accidents, ce qui est encore plus vrai dans la région Amérique latine/centrale et les Caraïbes. En Afrique et en Asie, les accidents d'autobus s'avèrent un problème important;
- la proportion de décès dans des accidents de la route chez les moins de 15 ans est jusqu'à trois fois plus importante dans les pays en développement. Mais dans toutes les régions du monde, les hommes entre 25 et 40 ans, qui font partie de la population active, constituent la proportion la plus importante de victimes rapportées d'accidents de la route.

1.6 CONCLUSION

Selon les statistiques, plus de 80 % du nombre total de décès dans des accidents de la route survient chaque année dans les pays en développement et en émergence. La plupart des pays fortement motorisés ont eu plus de cinquante ans pour apprendre à gérer les problèmes associés à une motorisation en constante augmentation. Non seulement les pays moins riches ont-ils eu beaucoup moins de temps, mais dans bien des cas, le rythme d'augmentation est beaucoup plus rapide. De nombreux pays en développement ont de sérieux problèmes de sécurité routière et la situation s'y dégrade tandis qu'elle s'améliore généralement en Europe et en Amérique du Nord.

Outre les aspects humanitaires du problème, les accidents de la route coûtent annuellement aux pays d'Afrique et d'Asie au moins 1 % de leur produit national brut, des sommes que ces pays peuvent difficilement se permettre de perdre. Par rapport aux causes de mortalité associées plus souvent aux pays en développements, les décès dûs aux accidents de la route sont loin d'être négligeables. Les lacunes au plan des installations médicales de ces pays contribuent aux taux de mortalité observés.

Les chapitres suivants traitent des actions mises en œuvre dans les pays développés pour améliorer la sécurité. Les pays en développement peuvent utiliser des méthodes similaires pour réduire leur bilan accidentel par le biais de cadres institutionnels améliorés, de meilleures bases de données et d'actions dans le domaine du génie routier.

Depuis quelques années, les pays en développement ont, avec l'appui d'organismes d'aide multinationaux et bilatéraux, accéléré leurs efforts pour améliorer la sécurité routière. Un autre événement important s'est produit : la création du Global Road Safety Partnership – partenariat mondial pour la sécurité routière – par la Banque mondiale, la Fédération internationale des sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant Rouge et plusieurs autres organismes. Le GRSP a pour objectif d'aider à réduire le bilan mondial de décès et de blessés en établissant des partenariats entre les secteurs privés et publics, lesquels encouragent la collaboration et la coordination des activités de sécurité routière à l'échelle mondiale.

Il faut espérer que ces tendances vont se poursuivre et que tous les pays vont, par des programmes conjoints de recherche et de développement et par le partage de l'information, – notamment par l'entremise de l'AIPCR – maintenir une approche efficace et scientifique de réduction du nombre des décès et des blessés dans des accidents de la route. Nous espérons que ce Manuel puisse y contribuer.

RÉFÉRENCES

- Asian Development Bank (1997)** *Road safety guidelines for the Asia and Pacific region*. Manila.
- Commission of the European Communities (1994)** *The socio-economic cost of road accidents*, Report 313, Brussels.
- Department of Environment, Transport and the Regions (1999)** *Road accidents Great Britain: 1998 The casualty report*. London Government Statistical Service, HSMO.
- Department of Environment, Transport and the Regions (1997)** *Road accidents Great Britain: 1996 The casualty report*. London Government Statistical Service, HSMO.
- Elvik, R. (1995)** *An analysis of official economic valuations of traffic accident fatalities in 20 motorized countries*, Oslo Institute of Transport Economics, V27 N2, pp. 237-247.
- Federal Highway Administration (1996)** *Highway Statistics*, U.S. Department of Transport, Washington, DC.
- Fouracre, P. R. et Jacobs, G.D. (1977)** *Comparative accident costs in developing countries*, Supplementary Report SR270, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Ghee, C., Silcock, D., Astrop, A. et Jacobs, G.D. (1997)** *Socio-economic aspects of road accidents in developing countries*, TRL Report 247, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Gorell, R.S.J. (1997)** *Accident data collection and analysis: The use of MAAP in the Sub-Saharan region of Africa*. 3rd African Road Safety Congress, Pretoria, South Africa, pp. 14-17.
- Inter-American Development Bank (1988)** *Review of traffic safety Latin America and Caribbean region, Volume 2, Accident Statistics*, Transport Research Laboratory and Ross Silcock, Washington, DC.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (1998)** *World disasters report 1998*, Geneva, 198 p.
- International Road Federation (1993)** *World road statistics 1988-92*, Washington, DC.
- International Road Federation (1999)** *World road statistics 1999*, Washington, DC.
- International Road Traffic and Accident Databases (1992)** *Definitions and data availability*, Special Report, OECD-RTR. BAST, Bergisch Gladbach, Germany.
- International Road Traffic and Accident Databases (1994)** *Under-reporting of road traffic accidents recorded by the police at the international level*, Special Report, OECD-RTR. BAST, Bergisch Gladbach, Germany.
- International Road Traffic and Accident Databases (1995)** *Seminar proceedings: International road traffic and accident databases*, OECD-RTR, Road Transport Programme, Helsinki, Finland, September 1995, pp. 11-13.
- Jacobs, G.D., Aeron-Thomas, A. et Astrop, A. (2000)** *Estimating global road fatalities*, TRL report 445, Transport Research Laboratory, Crowthorne, 36 p.
- James, H. (1991)** *Under-reporting of road traffic accidents*, Traffic Engineering and Control, December 1991, pp. 574-583.
- Liren, D. (1996)** *Viewing China road traffic safety and the countermeasures in accordance with international comparison*, Beijing Research in Traffic Engineering, Second Conference in Asian Road Safety, October 1996, pp. 28-31.
- Lu, T., Chou, M. et Lee, M. (2000)** *Regional mortality from motor vehicle traffic injury: Relationships among place of occurrence, place of death and place of residence*, Accident Analysis and Prevention, V32 N1, pp. 65-69.
- Murray, C. et Lopez, A.D. (1996)** *The global burden of disease*. World Health Organisation/Harvard School of Public Health/World Bank, Boston, 900 p.
- National Highway Traffic Safety Administration (1997)** *Traffic safety facts 1996*, US Department of Transportation, Washington, DC.
- Razzak, J. et Luby, S. (1998)** *Estimating deaths and injuries due to road traffic accidents in Karachi, Pakistan, through the capture-recapture method*, International Epidemiological Association, V27, pp. 866-870.

Simpson, H. (1997) *National hospital study of road accidents. Road accidents Great Britain: 1996. The casualty report*, Department of the environment, transport and the regions, Government statistical service.

The Economist (1999) *How to make aid work*, June 26.

United Nations (1999) *1995 Statistics of road traffic accidents in Europe and North America*, New York, 1995
International Road Federation, World road statistics 1999, Washington, DC.

World Bank (1999) *World bank atlas 1999*, Washington, DC.

World Health Organization (1999) *The World health report 1999: Making a difference*, Geneva, 121 p.

CHAPITRE 2

Gestion de la sécurité routière

Tomaz Pavcic

CHAPITRE 2

Gestion de la sécurité routière

	Page
2.1 INTRODUCTION	24
2.2 PROGRAMME DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE	24
2.3 COMPOSANTES D'UN PROGRAMME DE SÉCURITÉ	26
→ 2.3.1 Structure organisationnelle	26
→ 2.3.2 Système intégré de données	29
→ 2.3.3 Soutien politique et social	29
→ 2.3.4 Financement des initiatives de sécurité routière	31
→ 2.3.5 Compétences techniques et activités de recherche	32
→ 2.3.6 Suivi et évaluation	33
2.4 PLAN D'ACTION EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE	33
→ 2.4.1 Priorisation des actions	34
→ 2.4.2 Objectif principal de réduction du nombre d'accidents	36
2.5 CONCLUSION	38
LECTURES RECOMMANDÉES	38
RÉFÉRENCES	39

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1	Niveaux d'intervention en sécurité routière	31
Figure 2-2	Volume de traumatismes routiers pour une population donnée	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1	Structures de gestion de la sécurité routière	27
Tableau 2-2	Estimé des dépenses en sécurité routière – Grande-Bretagne (1997)	31
Tableau 2-3	Réduction d'accidents - Stratégies, mesures et actions (Administration routière)	34
Tableau 2-4	Exemples d'actions efficaces en matière de sécurité routière	35
Tableau 2-5	Exemples de priorités	36
Tableau 2-6	Exemples d'objectifs quantifiés de réduction du nombre des accidents	37

2.1 INTRODUCTION

Le chapitre précédent a démontré que les traumatismes dus aux accidents de la route représentent un grave problème de santé à l'échelle mondiale et que le nombre de décès sur la route continue d'augmenter rapidement dans la plupart des pays en développement. Sur une note plus positive, il a aussi démontré qu'un certain nombre de pays développés ont réussi, au cours des dernières décennies, à inverser ces tendances par l'élaboration de stratégies et d'actions qui se sont révélées efficaces.

Il importe de reconnaître qu'il existe plusieurs façons de résoudre un même problème de sécurité. La plupart des accidents ne sont pas attribuables à une seule cause, mais sont plutôt le résultat d'actions et d'interactions complexes entre les différentes composantes de ce qu'on est convenu d'appeler le *système de sécurité routière* (**section 3.1.1**). L'expérience montre que le ciblage en simultané de plusieurs actions vers une même composante de ce système peut être une stratégie très efficace pour régler un problème spécifique. Il en résulte en effet des effets de synergie qui augmentent les avantages respectifs des actions individuelles. Ainsi, l'adoption de nouvelles lois, combinée à des campagnes d'éducation, de promotion et de contrôle policier ont fortement contribué à l'augmentation du port de la ceinture de sécurité et à la diminution de la conduite avec facultés affaiblies.

Les pays qui ont eu du succès en sécurité routière ont aussi établi, au fil des ans, des structures organisationnelles qui permettent de traiter de façon efficace les problématiques de sécurité. Les éléments clés d'une saine stratégie de gestion incluent :

- la définition claire des rôles et des responsabilités de chaque intervenant;
- la création de mécanismes de coordination efficaces qui assurent une bonne synchronisation des actions.

Ce chapitre s'appuie sur ces expériences et propose des directives générales pour la gestion des actions de sécurité routière.

2.2 PROGRAMME DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE

Un programme de sécurité routière (PSR) est défini ici comme étant l'ensemble des activités devant être mises en oeuvre pour atteindre un objectif préétabli de réduction des accidents. Cela comprend à la fois :

- les mesures à prendre pour mieux gérer et coordonner les efforts investis pour l'amélioration de la sécurité routière (**section 2.3**);
- un choix d'actions prioritaires (**section 2.4**).

En général, un document officiel unique – le Plan d'action en sécurité routière – rassemble plusieurs éléments du programme de sécurité routière (PSR). Il indique comment un pays entend s'y prendre pour intervenir en sécurité routière. Un tel document est élaboré après qu'il ait été reconnu que les traumatismes routiers sont un prix inacceptable à payer pour assurer la mobilité des personnes et des marchandises. L'existence d'un plan d'action appuyé publiquement par le premier ministre ou son représentant est perçue comme un signal clair de la volonté d'un gouvernement à agir en matière de sécurité.

La liste des pays qui ont élaboré des plans d'action formels en sécurité routière s'allonge rapidement : la plupart des pays d'Amérique du Nord et d'Europe et certains pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud. Plusieurs de ces pays ont connu des améliorations substantielles de leur bilan de sécurité routière.

Des modifications organisationnelles s'imposent au départ pour augmenter les capacités institutionnelles et les compétences techniques nécessaires pour résoudre les problèmes de sécurité. Un premier programme de sécurité routière est alors développé. Cette première génération de programmes de sécurité subira nécessairement des modifications régulières pour tenir compte de la nature évolutive des problèmes et de la capacité sociétale à accepter de nouvelles mesures correctives qui sont souvent restrictives. Les programmes suédois « *Vision Zéro* » et néerlandais « *Sécurité durable* » sont de bons exemples de générations évoluées de programmes de sécurité routière.

Les sections suivantes, suggèrent une structure générale d'encadrement des actions de sécurité, développée à partir de l'expérience de plusieurs pays. Évidemment, une telle structure ne contient pas nécessairement l'ensemble des éléments devant être inclus à un PSR et inversement, il n'est pas obligatoire d'inclure tous les éléments suggérés dans un tel programme. Les spécificités régionales et nationales créent en effet des différences significatives en ce qui concerne les problèmes rencontrés et les solutions les plus appropriées. À chacun des pays d'élaborer les stratégies d'actions les mieux adaptées à ses caractéristiques :

- réalité historique, culturelle et sociale;
- organisation politique;
- contexte socio-économique;
- niveau de motorisation et niveau de développement du système de transports;
- niveau des compétences techniques.

Il importe de reconnaître qu'il n'existe pas de modèle de gestion de la sécurité routière qui soit applicable partout, sans ajustement. L'objectif de ce chapitre est de décrire ce qui est apparu utile dans plusieurs pays afin d'aider les gestionnaires responsables à élaborer le programme de sécurité routière de leur pays.

La « Vision Zéro » suédoise et la « Sécurité durable » néerlandaise

Vision Zéro (www.vv.se)

Objectif à long terme :

Aucun décès ou personne gravement blessée sur le réseau routier.

Principes de base :

Le système routier doit s'adapter pour mieux prendre en compte les besoins, les erreurs et la vulnérabilité des usagers de la route. La violence du choc que peut tolérer le corps humain sans en mourir ou être gravement blessé est le paramètre de base de la conception du réseau routier. La vitesse des véhicules est le facteur de régulation le plus important pour une circulation sécuritaire. Elle devrait dépendre des normes techniques des routes et des véhicules de façon à ne pas dépasser le niveau de violence que le corps humain peut tolérer.

Sécurité durable (www.swov.nl)

Le réseau de circulation et de transport tout entier est ajusté aux limites et aux capacités des usagers de la route. Mieux vaut prévenir que guérir et dans ce sens, tout est axé sur la prévention des accidents. En cas d'accident, les conséquences sont réduites au strict minimum :

Infrastructure

En conception routière, 3 grands principes sont à respecter :

Fonctionnalité : la circulation est distribuée sur le réseau routier tel que planifié.

Homogénéité : les différentiels de masses et de vitesses entre les différents modes de transport pouvant entrer en collision sont maintenus faibles.

Reconnaissance : les situations routières sont dans l'ensemble très prévisibles; d'un seul coup d'oeil, les usagers de la route reconnaissent le comportement qu'ils doivent adapter et celui attendu des autres usagers.

Véhicules

Ils sont conçus de façon à simplifier la conduite et à offrir une protection adéquate en cas d'accident (usagers de la route vulnérables et autres).

Usagers de la route

Ils sont bien informés et reçoivent une formation adéquate. Leur comportement est évalué régulièrement.

2.3 COMPOSANTES D'UN PROGRAMME DE SÉCURITÉ



2.3.1 STRUCTURE ORGANISATIONNELLE

Étant donné la grande diversité d'organisations pouvant jouer un rôle dans l'amélioration de la sécurité routière, il est impératif d'établir des structures administratives formelles qui pourront harmoniser et maximiser les effets des actions en sécurité routière. À cet égard, la mise sur pied de conseils de sécurité routière est souvent privilégiée, bien qu'une étude récente nuance quelque peu cette exigence (*structure organisationnelle de base*).

Conseils de sécurité routière

Conseil national de sécurité routière

Un conseil national de la sécurité routière (CNSR) est un organisme permanent dont les principales tâches consistent à définir les grandes orientations d'un pays en matière de sécurité routière et à favoriser la coordination des actions entre les différents organismes concernés à l'échelle nationale. Il n'existe pas de modèle organisationnel idéal pour un tel conseil qui, rappelons-le, doit convenir aux particularités de chaque pays. Toutefois, il y aurait avantage à ce qu'il :

- soit présidé par un politicien de haut niveau (premier ministre ou son équivalent);
- rassemble des cadres supérieurs des organisations clés qui doivent intervenir en sécurité routière :
 - organisations gouvernementales et paragouvernementales :
 - administrations en transports;
 - police;
 - services de santé publique;
 - éducation;
 - législation;
 - enregistrement et inspection des véhicules;
 - délivrance des permis de conduire.
 - organismes privés :
 - compagnie d'assurance;
 - entreprises de transport;
 - instituts de recherche;
 - etc.

cependant, le nombre de membres d'un CNSR doit demeurer limité pour en assurer l'efficacité (entre 10 et 25 personnes); des sous-comités pourront être formés pour traiter de thèmes particuliers : éducation, vitesse, etc. (Asian Development Bank¹, 1997)

- dispose de son propre budget et d'un secrétariat qui assure le soutien technique et administratif;
- se réunit de façon régulière pour décider des grandes orientations en matière de sécurité.

Comités de sécurité routière aux niveaux provincial, régional et local

Il est essentiel que des mesures de sécurité routière soient aussi mises en œuvre par les autorités provinciales, régionales et locales. À chacun de ces niveaux, le nombre et la diversité des intervenants impliqués dans la recherche de solutions demeurent importants et l'harmonisation

¹ Asian Development Bank, en français : Banque asiatique de développement

des efforts est fort utile. La mise en place d'organismes formels de coordination, ayant des structures similaires à celles du Conseil national, est donc souhaitable. L'envergure de ces comités provinciaux, régionaux et locaux doit être adaptée à l'ampleur du réseau couvert.

L'intégration des efforts déployés aux niveaux national, provincial, régional et local est essentielle car la coordination horizontale et verticale des activités de sécurité routière permet d'obtenir de meilleurs résultats.

Structure de base de gestion de la sécurité

Dans une revue des modes de fonctionnement de 13 pays, Aeron-Thomas et al. (2002) ont identifié trois différentes structures de base de gestion de la sécurité : une agence responsable, un Conseil national de sécurité routière ou une organisation non-gouvernementale indépendante. Chacune de ces structures présente des avantages et des inconvénients :

Tableau 2-1 Structures de gestion de la sécurité routière

	AGENCE RESPONSABLE	CONSEIL NATIONAL DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE	ORGANISATION INDÉPENDANTE (ONG ^a)
Avantages	Rapidité d'action Financement clair	Participation élargie Propriété locale	Possibilités de levées de fonds et de lobbying Possibilités de sources de financement variées
Désavantages	Vision limitée Acceptation de fonds non gouvernementaux peut être problématique	Rôle conseil principalement Sources de financement obscures	Autorité limitée sur le secteur public.
Exemples	Suède, Royaume Uni, Chili, Afrique du Sud, Ethiopie	Zambie, Bangladesh, Ghana, Fiji	Autriche, Singapour

^a Organisation non-gouvernementale indépendante

Les auteurs indiquent que les structures de gestion de la sécurité établies autour d'une agence responsable et celles qui s'appuient sur un Conseil national de sécurité routière (CNSR) peuvent toutes deux conduire à des améliorations efficaces de la sécurité, en autant que les éléments clés suivants soient pris en compte :

- *un responsable de la sécurité routière doit être clairement identifié (CNSR ou agence responsable); il doit disposer d'un financement adéquat et de professionnels qualifiés;*
- *les responsabilités spécifiques de l'agence responsable doivent être bien définies, de même que son rôle de coordination auprès des autres organismes;*
- *le responsable de la sécurité se situe souvent à l'intérieur de l'administration routière et son Ministre doit faire rapport de l'état de la sécurité routière au gouvernement/parlement. Ce qui ne devrait pas nuire à la participation des autres organismes, à la condition que la coordination soit efficace;*
- *il est essentiel d'établir de bonnes relations de travail entre tous les contributeurs. Une communication efficace entre la police et les ingénieurs routiers, qui partagent la responsabilité de l'exploitation sécuritaire des routes, est fondamentale et constitue un point de départ efficace;*
- *les CNSR les plus efficaces sont de dimension restreinte, permettant ainsi le développement de relations de travail étroites et favorisant l'imputabilité des membres. Ce mode de fonctionnement exige cependant la contribution de groupes de travail et d'un secrétariat qui offrent des conseils judicieux et assurent la mise en oeuvre des décisions. Les groupes de travail devraient intégrer le secteur des affaires et la société civile au développement de politiques de sécurité routière;*
- *les membres des conseils ou organismes de coordination doivent être en mesure, peu importe leur mode de sélection, d'offrir une contribution active ou un support politique.*

Pour plus d'information, le lecteur est invité à consulter le rapport complet qui est disponible sur Internet (Aeron-Thomas et al., 2002), ou encore, les quatre notes d'information sommaires qui ont été préparées sur le sujet par le GRSP (<http://www.grsproadsafety.org>).

Rôles et responsabilités de quelques organisations

L'efficacité des actions de sécurité routière exige un partage clair des rôles et des responsabilités de chaque organisation. Les profils ci-dessous se retrouvent de manière assez constante dans le monde.

Administrations routières

Les administrations routières centrales assurent souvent un rôle de leader sur le plan de la gestion de la sécurité. Elles sont responsables des lois et des règlements reliés à la route. Elles participent aussi au financement de projets, au soutien technique et au soutien à la recherche auprès des administrations routières provinciales, régionales et locales.

Elles ont en outre la responsabilité d'assurer un niveau de sécurité acceptable sur l'ensemble de leur réseau. Au départ, l'emphase est généralement placée sur l'application de mesures peu coûteuses (correction de points noirs). Après quelques années cependant, les mesures évoluent progressivement vers d'autres types de traitements et d'actions préventives (*chapitre 5*).

Autorités policières

Les autorités policières sont responsables de l'application de la loi, un élément essentiel de toute stratégie d'amélioration de la sécurité.

Elles sont aussi responsables du recueil des données sur les accidents. Ces données doivent non seulement répondre aux besoins de l'autorité policière mais aussi fournir une information fiable aux divers groupes d'analystes qui réalisent des études de sécurité : ingénieurs routiers, planificateurs en transport, spécialistes des secteurs de la santé et de l'éducation, organismes de recherche sur la sécurité routière, etc.

Comme ils sont les intervenants de première ligne lors d'accidents de la route, les policiers disposent de renseignements clés pour définir les besoins d'intervention et participer à l'établissement d'objectifs réalistes de réduction des accidents. Une bonne coopération entre les autorités policières et les administrations routières est donc fortement recommandée pour améliorer l'exactitude des diagnostics de sécurité.

Secteur privé et groupes d'intérêts

Le succès des initiatives de sécurité routière est tributaire de la participation active d'organismes publics et de sociétés privées. L'établissement de mécanismes de liaisons efficaces entre les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux est donc essentiel si l'on veut que ces derniers participent aux efforts d'amélioration de la sécurité. En ce sens, les efforts du *Global road safety partnership* (GRSP) doivent être mentionnés. L'objectif premier de ce groupe est de développer des partenariats efficaces entre le monde des affaires, la société civile et le gouvernement afin de traiter plus efficacement les problèmes de sécurité routière.

La participation de groupes d'intérêts spécifiques est aussi essentielle si l'on veut accélérer l'adoption de nouvelles initiatives de sécurité, surtout lorsque les mesures proposées sont impopulaires. Pilotées uniquement par les administrations routières, de telles mesures ont en effet de fortes chances d'être reléguées parmi les dossiers de moindre importance, auquel cas les progrès seront lents. L'expérience a montré que les pressions exercées par des groupes d'intérêts reconnus peuvent plus facilement attirer l'attention de la population et des politiciens sur certains problèmes de sécurité, accélérant ainsi l'adoption de nouvelles mesures correctives.

2.3.2 SYSTÈME INTÉGRÉ DE DONNÉES

L'existence d'un système de données fiables est fondamental à une gestion efficace de la sécurité routière. Sans données exactes sur les accidents, il est impossible d'établir l'ampleur des problèmes et d'identifier les besoins les plus pressants. Impossible aussi de bien comprendre la nature des problèmes rencontrés, facteur pourtant essentiel aux choix de solutions appropriées. Les bases de données sur les accidents devraient préciser :

- Où surviennent les accidents?
- Quand surviennent-ils?
- Qui est impliqué?
- Comment l'accident s'est-il produit?

Pour effectuer des études de sécurité ciblées sur les caractéristiques de l'infrastructure routière, il faut aussi pouvoir relier les données d'accidents aux caractéristiques de la route et de la circulation. Le *chapitre 4* décrit en détail les données requises et explique comment les recueillir et les exploiter.

2.3.3 SOUTIEN POLITIQUE ET SOCIAL

Le succès d'un programme de sécurité routière est fortement lié à la prise de conscience par la population de l'importance du problème et à la volonté des dirigeants politiques d'améliorer la situation.

Tous les pays ne montrent pas le même empressement à mettre en œuvre des mesures de sécurité routière. Certains sont plus sensibles au problème et lui accordent une plus grande importance. La Banque mondiale définit ainsi trois niveaux de sensibilisation à la sécurité routière (Ross et al., 1991) :

Niveau de sensibilisation 1. Pays peu sensibilisés à la sécurité. Les données sur les accidents peuvent être ou non recueillies et le système de données est rudimentaire. Peu d'informations sont disponibles quant à l'évolution des problèmes de sécurité ou aux types d'usagers à risque élevé. L'intérêt général du gouvernement est faible, bien que certains individus (souvent des médecins) puissent s'intéresser au problème. Les ingénieurs de la circulation sont peu nombreux et pratiquement personne ne se penche directement sur la question de la sécurité.

Niveau de sensibilisation 2. Le gouvernement est conscient du problème de sécurité routière mais y accorde peu d'importance. Les données sur les accidents sont rares, mais disponibles. À l'occasion, il peut y avoir des groupes de pression sur la sécurité routière et même un Conseil national de la sécurité routière toutefois inefficace. Quelques ministères sous-financés peuvent vouloir, « faire quelque chose » malgré des responsabilités fragmentées. Dans certains cas, les médias commencent à exiger que l'on agisse et certaines recherches universitaires peuvent être entreprises.

Niveau de sensibilisation 3. Le gouvernement reconnaît le besoin d'assistance. Un système de données d'accidents a été amélioré alors que des ressources humaines ont reçu une formation en sécurité routière. L'analyse des points noirs est commencée, de même que l'identification des groupes d'usagers les plus à risque. Un Conseil national de la sécurité routière (CNSR) appuie les comités de sécurité locaux et coordonne un programme national de sécurité routière. Les ingénieurs routiers et l'administration routière sont qualifiés pour œuvrer à l'amélioration des points noirs. Des efforts sont faits pour améliorer les procédures d'accès à la conduite et la vérification des véhicules, ainsi que développer l'éducation routière des enfants et bonifier les lois. Un noyau de spécialistes en sécurité s'intéresse vivement au problème mais manque de ressources. La recherche en sécurité routière s'amorce alors que les médias réclament des mesures.

Plus le niveau de sensibilisation est faible, moins il est probable que le gouvernement s'intéresse aux problèmes de sécurité routière et que cette préoccupation soit prise en compte lors de la conception de nouveaux projets.

Trop souvent, la prise de conscience ne s'effectue que lorsque le problème a atteint des proportions désastreuses, ce qui a pour effet d'accroître les investissements requis pour ramener la situation à un niveau plus acceptable.

Selon Mulder et Wegman (1999), la formulation de politiques de sécurité routière est un processus en plusieurs étapes qui commence par *l'identification du problème*, pour se poursuivre par une *demande de reconnaissance du problème* et son *acceptation sociale initiale*. Dans les pays qui n'en sont pas encore à ces étapes, il y aurait donc lieu de prendre des mesures directes visant à mieux faire reconnaître l'existence du problème.

En ce sens, le *Road safety guidelines for Asia and Pacific region* (Asian Development Bank², 1997) recommande :

- des évaluations indépendantes visant à mesurer l'ampleur et la nature du problème, de même que son évolution;
- l'organisation de séminaires nationaux sur la sécurité routière, à l'intention de tout le personnel supérieur des organismes clés gouvernementaux et non gouvernementaux qui ont des responsabilités en matière de sécurité ou qui s'y intéressent.

Ces deux activités auraient avantage à faire l'objet d'une couverture médiatique bien organisée, de façon à sensibiliser davantage les politiciens et la population.

Tel que mentionné précédemment, les pressions exercées sur les politiciens par les groupes de lobbyistes sont aussi très efficaces pour accroître l'appui aux activités reliées à la sécurité routière.

Les approches globales de *marketing social*, qui appliquent les concepts et les outils développés en marketing commercial pour la résolution de problèmes de santé, ont aussi été utilisées avec succès pour appuyer et faire accepter les initiatives de sécurité routière (p. ex. conduite avec facultés affaiblies, ceinture de sécurité).

Pourquoi est-ce si difficile d'attirer l'attention sur les problèmes de sécurité routière?

Plusieurs facteurs expliquent pourquoi il est difficile d'attirer l'attention sur les problèmes de sécurité routière :

- absence générale d'information exacte sur l'ampleur, la nature et les caractéristiques du problème;
- absence d'information sur les avantages des contre-actions mises en œuvre;
- absence d'une volonté politique de s'occuper du problème (les projets de construction de route rapportent plus de votes aux politiciens que les plans de sécurité routière);
- dilemme sécurité-mobilité (parce qu'elles limitent souvent la mobilité, les mesures de sécurité routière sont souvent impopulaires auprès des politiciens et des usagers de la route; on accorde une grande importance à la mobilité);
- insuffisance des moyens d'action et manque de ressources (financières, organisationnelles, techniques, etc.);
- partage des responsabilités en matière de sécurité entre plusieurs organismes et manque de coordination des actions;
- conséquences limitées de chaque accident (par rapport à un accident d'avion ou de train ou une catastrophe en mer, un accident de la route ne semble pas si dramatique et en conséquence, fait moins la manchette);
- taux d'occurrence élevé des accidents de la route (pour bien des gens, le risque d'accident est le prix inévitable de la mobilité).

Reconnaître ces difficultés et élaborer des solutions qui en tiennent compte devrait faire partie d'une stratégie de gestion de la sécurité routière.

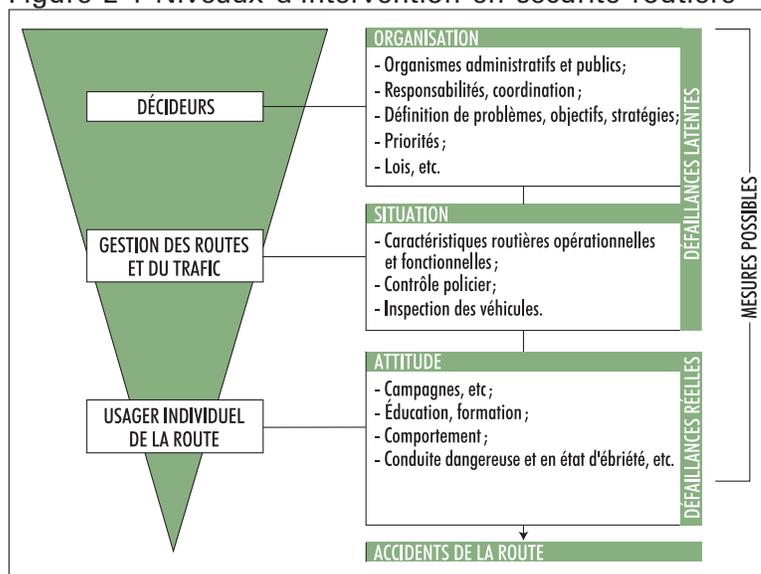
² Asian Development Bank, en français : Banque asiatique de développement

Niveaux d'intervention en sécurité routière

La figure 2-1 montre que les accidents de la route peuvent résulter de lacunes latentes chez les décideurs et les gestionnaires du réseau routier et de lacunes actives chez les usagers de la route.

Il est important de réaliser que les erreurs ou omissions des décideurs et des gestionnaires, même si elles sont parfois plus difficiles à détecter que celles des usagers de la route, peuvent avoir des répercussions majeures sur la sécurité routière.

Figure 2-1 Niveaux d'intervention en sécurité routière



Source : Rumar, 1994

2.3.4 FINANCEMENT DES INITIATIVES DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE

Les conséquences humaines et économiques des accidents de la route sont dévastatrices. Comme on l'a vu au *chapitre 1*, les pertes économiques consécutives à ces accidents sont, dans les pays en développement et en émergence supérieures à l'ensemble des sommes qu'ils reçoivent d'organismes donateurs. À l'échelle mondiale, les accidents de la route coûtent plus de 500 milliards de dollars \$US par année. Il est évident que des investissements en sécurité routière pourraient réduire la pression sur les systèmes médicaux et produire ainsi des économies substantielles qui pourraient être allouées à d'autres services publics. Pourtant le financement des initiatives en sécurité routière demeure très insuffisant dans plusieurs pays. Mais comment améliorer la situation?

Il faut, d'une part, que les gouvernements comprennent qu'ils doivent investir une part suffisante de leur budget dans la mise en œuvre d'actions en sécurité routière. Eux seuls peuvent assumer la responsabilité pleine et entière du développement d'une stratégie de sécurité routière et fournir les fonds nécessaires à la participation des organismes impliqués.

À titre d'exemple, mentionnons le cas de la Grande-Bretagne où les dépenses annuelles totales en sécurité routière sont de l'ordre de 2 milliards £ comparativement à un coût estimé des accidents d'environ 11 milliards £ (Department of the Environment, Transport and the Regions, 1997, 1999) (tableau 2-2).

Tableau 2-2 Estimé des dépenses en sécurité routière Grande-Bretagne (1997)

	DOMAINE	£ MILLION
Par le gouvernement	Soins hospitaliers et services ambulatoires	474
	Contrôle policier	271
	Actions locales sur l'infrastructure	90
	Permis (conduite, véhicules)	73
	Éducation	29
	Normes des véhicules, publicité, etc.	7
	SOUS-TOTAL	944
Par le public	Vérification mécanique des véhicules	683
	Formation, tests	469
	Permis de conduire	38
	Conducteurs professionnels (accès à la conduite)	27
	Contrôle policier	15
	SOUS-TOTAL	1 232
TOTAL	2 177	

Source : Department of the Environment, Transport and the Regions, 1997

D'autre part, il faut aussi faire appel à d'autres sources de financement pouvant être disponibles, dont :

- les prêts et l'assistance au plan international (Banque mondiale, Banque asiatique de développement, etc.);
- les frais imposés aux usagers (immatriculation des véhicules, péage, taxes sur l'essence);
- les amendes imposées aux usagers de la route;
- les compagnies d'assurance;
- les autres sociétés privées (constructeurs automobiles, sociétés pétrolières, entreprises de transport, entreprises de travaux routiers).

2.3.5 COMPÉTENCES TECHNIQUES ET ACTIVITÉS DE RECHERCHE

Compétences techniques

Le personnel qualifié étant partie intégrante de la solution, il est essentiel de renforcer les compétences techniques en sécurité routière. Les décideurs doivent se questionner sur les ressources humaines existantes :

- y a-t-il assez d'ingénieurs et de techniciens de la route, de policiers, de formateurs, etc. pour assurer la mise en œuvre du plan d'action en sécurité routière?
- si oui, ont-ils les compétences, les équipements et la liberté d'action nécessaires pour effectuer leur travail de façon satisfaisante?

L'institut des routes et du transport britannique (Institution of highways and transportation, 1990) recommande l'embauche d'un ingénieur ou d'un technicien par tranche de 400 - 1 000 accidents rapportés par année (ce nombre peut varier en fonction de l'organisme responsable de la conception et de la mise en œuvre des solutions proposées).

Activités de recherche

Il faut aussi stimuler les activités de recherche effectuées dans le but de mieux comprendre comment se produisent les accidents de la route. Dans cet esprit, il faut accroître les efforts de recherches multidisciplinaires regroupant des experts du domaine de la conception routière, de la conception automobile, des spécialistes en facteurs humains ainsi que des spécialistes du secteur de la santé. De telles recherches peuvent en effet conduire à une meilleure prise en compte des interactions entre les différentes composantes du système de sécurité, ce qui peut mener à la proposition de nouveaux types de traitements efficaces. Les interventions de type « modération de la circulation » constituent un bon exemple d'un domaine d'intervention relativement récent, qui est ciblé vers l'interface humain-environnement routier³.

Les développements effectués dans le domaine des technologies de transport intelligent (systèmes embarqués ou autres) sont aussi appelés à jouer un rôle croissant dans la prévention des accidents et la diminution des traumatismes.

La portée des activités de recherche dépend forcément de la taille du pays et de son niveau de développement, mais dans tous les cas :

- l'accès aux connaissances internationales est crucial afin d'éviter les duplications inutiles d'efforts. Les progrès récents des communications par Internet augmentent considérablement les possibilités dans ce domaine. Les forums interrégionaux de transfert des connaissances qui se tiennent déjà dans certaines régions constituent un autre mode de diffusion des résultats de recherche très efficace;
- il faut aussi encourager la coopération internationale entre les groupes de recherche, puisqu'elle permet de maximiser les budgets disponibles.

³ Les interventions de modération de vitesse (traffic calming) se basent sur les mécanismes de perception des conducteurs pour proposer des modifications aux caractéristiques de la route susceptibles de favoriser des choix de vitesses pratiquées qui sont sécuritaires (en fonction du contexte routier).

2.3.6 SUIVI ET ÉVALUATION

Le suivi et l'évaluation des actions mises en œuvre pour améliorer la sécurité routière doivent être effectués pour s'assurer de leur conformité aux objectifs fixés et être ainsi en mesure d'effectuer au besoin les ajustements nécessaires.

En matière de sécurité routière, la réduction du nombre des accidents constitue généralement l'indicateur de performance privilégié et l'évaluation s'effectue au moyen d'analyses d'accidents avant-après. Le problème est qu'il faut souvent attendre plusieurs années avant de disposer de données suffisantes pour pouvoir effectuer des analyses d'accidents avant-après qui soient fiables.

Il importe donc de compléter de telles analyses par la réalisation d'*études techniques* et d'*observations aux sites* pouvant apporter un éclairage utile sur l'efficacité d'un traitement, peu après sa mise en œuvre (*étude de vitesse, étude de conflits routiers*, etc.).

Les méthodes et les techniques d'évaluation font l'objet du *chapitre 8*.

2.4 PLAN D'ACTION EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE

Un bon système de données doit être en mesure de révéler l'ampleur du problème de sécurité, ses principales caractéristiques ainsi que son évolution. À partir de ces connaissances, il devient alors possible de développer un plan d'action qui précise les priorités d'interventions en matière de sécurité. Ce plan doit avoir les caractéristiques suivantes :

- les mesures sélectionnées doivent être réalistes (compte tenu du budget disponible et des autres types de contraintes);
- les mesures choisies doivent toucher tous les volets clés de la sécurité (programme équilibré);
- la priorité doit être accordée aux mesures dont la rentabilité a été prouvée.

Les plans d'action devraient fournir des descriptions détaillées du contenu de chaque action, de même qu'un échéancier et des détails sur les coûts et les avantages attendus.

Des plans d'action distincts devraient être préparés au niveau national, régional et local.

Lors du choix d'actions, il faut garder à l'esprit les constats suivants (Trinca et al., 1988) :

1. *Dans une société en continuelle mouvance, il n'y a pas de panacée unique aux problèmes de sécurité routière.*
2. *Les traumatismes routiers sont un phénomène hétérogène et doivent être traités en conséquence. Une myriade de problèmes individuels doivent être identifiés, compris et traités par des techniques scientifiques.*
3. *Les causes des traumatismes routiers sont beaucoup trop diversifiées pour qu'un seul organisme s'y attaque. Il faut mettre en œuvre une approche d'intervention systémique, s'appuyant sur une intégration institutionnelle efficace.*
4. *Une prise de décision rationnelle, soutenue par des analyses avantages-coûts et coûts-efficacité, devrait toujours influencer les politiques de sécurité routière et l'élaboration des programmes.*
5. *Des programmes d'intervention devraient faire l'objet d'essais pilotes dans la mesure du possible, et d'évaluation, dans tous les cas, pour éviter de gaspiller des ressources limitées sur des mesures inefficaces.*

2.4.1 PRIORISATION DES ACTIONS

Pour déterminer les priorités d'actions d'un pays en matière de sécurité routière, il faut au préalable bien connaître l'éventail de mesures pouvant être envisagées. Différents regroupements peuvent être utilisés pour décrire cet ensemble d'options. Les paragraphes qui suivent décrivent :

- l'approche IEC (aussi connue sous le terme anglais de « triple E approach »);
- l'équation de réduction des traumatismes;
- la matrice de Haddon.

Approche IEC

L'approche IEC – *triple E* en anglais pour *Engineering, Education et Enforcement* – est donc fondée sur l'Ingénierie (qu'elle soit automobile ou routière), l'Éducation (formation, éducation routière) et le Contrôle (application des lois et règlements). On y ajoute parfois un quatrième « E » – pas toujours le même d'ailleurs, puisqu'il peut s'agir de mesures incitatives (*Encouragement*), de services d'urgence (*Emergency services*) ou d'évaluation (*Evaluation*).

Équation de réduction des traumatismes

Fondamentalement, le nombre de traumatismes routiers (B) peut être exprimé comme un produit du volume de circulation (Q), du taux d'accidents (A/Q) et du taux de traumatismes (B/A) :

$$B = Q \times \frac{A}{Q} \times \frac{B}{A} \quad [\text{Eq. 2-1}]$$

Les réductions du nombre de traumatismes routiers peuvent conséquemment résulter d'actions ciblées sur la réduction de la contribution de l'un ou l'autre de ces trois facteurs. Le tableau 2-3 liste les actions pouvant être prises à chacun de ces niveaux par les administrations routières.

Tableau 2-3 Réduction d'accidents - Stratégies, mesures et actions (Administration routière)

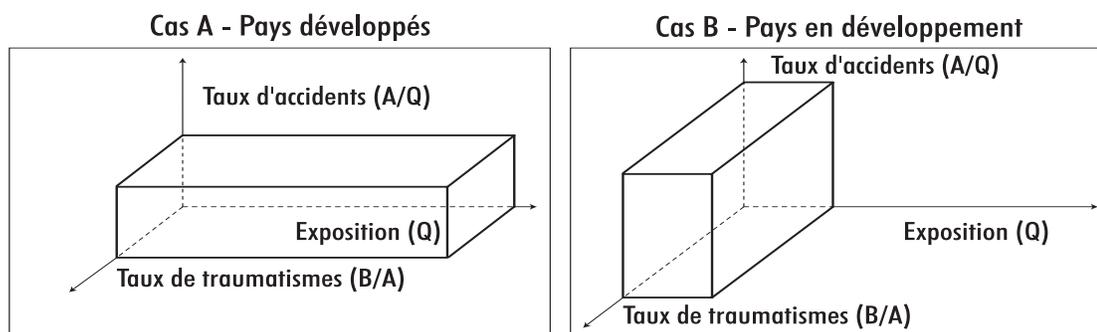
STRATÉGIES	MESURES	ACTIONS
CONTRÔLER LES VOLUMES DE CIRCULATION	<ul style="list-style-type: none"> - réduire la demande de transport et le trafic routier; - promouvoir la pratique de la marche et du cyclisme sécuritaire et confortable; - offrir et promouvoir le transport en commun; - promouvoir le transfert vers des modes plus sécuritaires. 	<ul style="list-style-type: none"> - politiques (urbaine, transport); - réaménagement urbain (densité accrue, distances plus courtes); - coûts et règlements du transport; - télécommunications (télétravail, téléachat); - informatique pour informations pré-voyage et embarquées; - gestion de la demande en transports (covoiturage); - logistique (rail, usage efficace du parc de véhicules); - réseaux pédestres et cyclables; - utilisation intégrée du sol et des transports publics; - service efficace (voies réservées aux bus, tarification, etc.).
RÉDUIRE LE TAUX D'ACCIDENTS	<ul style="list-style-type: none"> - améliorer l'homogénéité de la circulation; - séparer les flux de circulation; - améliorer la gestion du trafic et des routes. 	<ul style="list-style-type: none"> - normes de conception géométriques, etc.; - classement des routes selon leur fonction; - gestion de la circulation, zones piétonnières; - modération de la circulation, gestion de la vitesse; - séparation des manoeuvres aux intersections (feux, giratoire, échangeurs); - canalisation (terre-pleins, marquage routier); - étalement des temps de déplacement (horaires variables); - gestion de la circulation (information, danger, panneaux à messages variables); - inspection et entretien des routes.
RÉDUIRE LE TAUX DE TRAUMATISMES	<ul style="list-style-type: none"> - réduire les conséquences des accidents par : <ul style="list-style-type: none"> - des mesures préventives; - des services de secours efficaces. - réparer les équipements endommagés. 	<ul style="list-style-type: none"> - zones de dégagement libres d'obstacles, poteaux fragilisés; - barrières (centrales, abords de route); - création de service de secours; - interventions d'urgence (gestion de la circulation, changement d'itinéraire); - inspection et entretien des routes.

Source : Gunnarson, 1999

Règle générale, la situation est différente dans les pays développés et dans les pays en développement :

- pays développés : le taux d'accidents et le taux de traumatismes sont relativement faibles alors que les volumes de circulation sont relativement élevés (figure 2-2);
- pays en développement : la situation est inversée (figure 2-2).

Figure 2-2 Volume de traumatismes routiers pour une population donnée



Source : Gunnarsson, 1996

Matrice de Haddon

Cette matrice, développée par l'ingénieur et médecin William Haddon, comprend deux axes :

- l'axe vertical se rapporte aux diverses composantes du système de sécurité : facteurs humains, environnement routier, véhicule et facteurs socio-économiques;
- l'axe horizontal se rapporte aux trois phases de l'accident (avant, pendant et après).

Chaque cellule de la matrice présente un ensemble de mesures pouvant être mises en œuvre pour réduire l'occurrence ou la gravité des accidents (*section 3.1.1 – Système élémentaire*).

Le tableau 2-4 énumère quelques actions avérées efficaces pour réduire le nombre des accidents et des blessures; le tableau 2-5 présente les priorités d'actions de quelques pays.

Tableau 2-4 Exemples d'actions efficaces en matière de sécurité routière

INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE	VÉHICULE	COMPORTEMENT DE L'USAGER DE LA ROUTE	AIDE AUX ACCIDENTÉS
- correction des points noirs; - audits de sécurité routière; - principe de « la route qui pardonne » (conception et entretien des routes permettant de minimiser les conséquences des erreurs des conducteurs).	- règlements sur la sécurité; - véhicules plus sûrs (capacité de résistance aux chocs); - inspections des véhicules.	- combinaison de mesures destinées à atténuer les comportements dangereux (p. ex. conduite avec facultés affaiblies, excès de vitesse) ou à favoriser les comportements sécuritaires (p. ex. ceinture de sécurité, appareils de retenue pour enfants) : sanctions légales, contrôle policier, loi, éducation, information, ingénierie routière, etc.	- amélioration de l'aide apportée aux victimes de la route.

Tableau 2-5 Exemples de priorités

GRANDE-BRETAGNE	SUÈDE	DANEMARK	PROPOSITION POUR LES PAYS D'EUROPE CENTRALE ET ORIENTALE
<ul style="list-style-type: none"> - sécurité des enfants; - accès à la conduite (formation et examens); - conducteurs (alcool, drogues et somnolence); - infrastructures routières plus sûres; - excès de vitesses; - véhicules plus sûrs; - motocyclisme plus sûr; - piétons, cyclistes et cavaliers plus sûrs; - meilleure contrôle policier; - promotion d'un usage plus sûr de la route. 	<ul style="list-style-type: none"> - évaluation de la sécurité routière; - alcool au volant; - limitation des excès de vitesses; - réduction des infractions aux autres règlements; - infrastructures routières plus sûres; - usage accru des équipements de sécurité des véhicules; - véhicules plus sûrs; - visibilité accrue dans la circulation routière; - casque à vélo; - amélioration des secours; - amélioration des soins médicaux et de la réadaptation. 	<ul style="list-style-type: none"> - éducation des usagers de la route; - casque à vélo; - équipement de sécurité passif; - amélioration et rapidité des secours; - amélioration des soins et de la réadaptation; - contrôles de vitesse automatisés; - contrôles policiers accrus; - système de points d'inaptitude à la conduite; - élimination des objets fixes sur les abords de route; - corrections de points noirs; - audits de sécurité; - renforcement des actions locales en sécurité routière; - plans locaux de sécurité routière; - meilleure coopération; - plans pour les entreprises; - recherche. 	<ul style="list-style-type: none"> - accroissement de la sensibilisation et de l'appui à la sécurité; - acceptation des mesures de sécurité par le public; - intégration des politiques de sécurité aux autres politiques; - création de réseaux (spécialistes et citoyens); - utilisation du savoir-faire dans la mise en œuvre d'une politique; - vérification de la qualité de la mise en œuvre; - combinaison de stratégies à long terme et de succès à court terme; - mise en œuvre en priorité de mesures reconnues, simples et rentables; - réduction du risque d'erreur humaine en : <ul style="list-style-type: none"> - augmentant la prévisibilité du trafic; - augmentant l'homogénéité du trafic; - réduisant la vitesse; - séparant les catégories d'usagers de la route; - améliorant la sécurité des véhicules; - améliorant les services d'urgence et les soins hospitaliers.

2.4.2 OBJECTIF PRINCIPAL DE RÉDUCTION DU NOMBRE D'ACCIDENTS

L'objectif principal de réduction du nombre d'accidents définit clairement ce qui constitue la cible nationale d'amélioration de la sécurité routière. Cet objectif est de préférence quantitatif, limité dans le temps, facile à comprendre et mesurable. En général, il est exprimé en termes de réduction des décès sur les routes (nombre ou pourcentage) au cours d'une période donnée. On lui associe parfois un objectif de réduction des blessures.

Cet objectif à atteindre devrait être publiquement reconnu par les élus, de façon à faire connaître la volonté du gouvernement à ce chapitre.

Les principales valeurs d'un objectif quantitatif de réduction des accidents sont :

- apporter un fondement rationnel lors de l'identification et de la mise en œuvre des mesures correctives;
- motiver ceux qui sont à même de contribuer à la réalisation de cet objectif;
- encourager l'ordonnancement et la mise en œuvre des actions en fonction de leur potentiel à réduire le nombre d'accidents;
- fournir l'occasion d'augmenter l'intérêt par rapport à la sécurité dans la collectivité;
- encourager les diverses autorités responsables à fixer leurs propres objectifs d'amélioration de la sécurité routière.

Selon une étude réalisée par Elvik (1993), les pays ayant fixé des objectifs quantifiés d'amélioration de la sécurité routière obtiennent en moyenne de meilleurs résultats que ceux qui ne l'ont pas fait.

L'objectif principal de réduction du nombre d'accidents est généralement fixé pour une période assez longue, le plus souvent entre 5 et 10 ans. Ce choix de période permet la mise en œuvre conjointe de mesures à court terme et d'initiatives dont la réalisation ou l'efficacité exige plus de temps. Le suivi annuel des progrès accomplis est essentiel pour s'assurer de la conformité aux objectifs proposés et prendre au besoin des mesures correctives.

Il est impossible d'établir des objectifs réalistes de réduction des accidents en l'absence de données fiables qui fournissent une information précise sur l'ampleur des problèmes de sécurité.

Il y a généralement deux approches à l'établissement d'un objectif principal de réduction des accidents :

- **la démarche descendante**, qui établit en premier lieu un objectif principal et élabore ensuite des sous-objectifs pour chaque stratégie ou action hiérarchisée, de façon à atteindre cet objectif principal;
- **la démarche ascendante**, qui rassemble les estimations de l'efficacité escomptée de contre-mesures individuelles pour en arriver à un objectif principal.

La démarche descendante peut être qualifiée d'idéaliste alors que la démarche ascendante est plus réaliste.

Une démarche ascendante devrait comprendre les étapes suivantes :

1. analyse de la situation :
comprendre les problématiques de sécurité routière, déterminer les principales faiblesses du système et connaître leur évolution récente.
2. établissement d'une liste de priorités (p. ex. tableau 2-5) :
tenir compte de tous les éléments du système de sécurité routière de façon à élaborer une stratégie équilibrée.
3. élaboration d'actions pour chacune de ces priorités :
évaluer la rentabilité de chaque mesure et accorder la priorité aux mesures peu coûteuses.
4. établissement de sous-objectifs quantifiés et de l'objectif principal :
choisir des sous-objectifs de réduction des accidents ambitieux, mais atteignables, donc motivant.
5. suivi pour évaluer l'efficacité des contre-mesures.
6. rétroaction et actions correctives s'il y a lieu.

Le tableau 2-6 présente des exemples d'objectifs nationaux de réduction des accidents.

Tableau 2-6 Exemples d'objectifs quantifiés de réduction du nombre des accidents

PAYS	OBJECTIF PRINCIPAL	PÉRIODE	
		DE	À
AUSTRALIE (NGS)	Réduction de 40% – décès	2000	2010
CANADA	Réduction de 30% – décès et blessés graves	1996-2001 (moyenne de)	2008-2010 (moyenne de)
DANEMARK	Réduction de 40% – décès et blessés graves	2000	2012
FINLANDE	Réduction de 65% – décès		2005
GRANDE-BRETAGNE	Réduction de 40% – décès et blessés graves	1994-1998 (moyenne de)	2010
PAYS-BAS	Réduction de 50% – décès et blessés	comparé à 1986-1998	2010
POLOGNE	Réduction de 20% – décès		2001
SUÈDE	Réduction de 50% – décès	1998	2007
UNION EUROPÉENNE	Réduction de 50% – décès	2002	2010

OBJECTIFS

Doivent être mesurables, atteignables et acceptables pour l'ensemble de la collectivité.

2.5 CONCLUSION

La gestion formelle de la sécurité routière, est un élément fondamental à une amélioration du bilan accidentel routier. Le Programme de sécurité routière et le Plan d'action afférent, constituent les bases d'une gestion intégrée de la sécurité.

Ce chapitre a décrit plusieurs composantes d'un programme de sécurité routière, en se basant sur l'expérience acquise dans plusieurs pays qui ont réussi à améliorer leur bilan routier. Ces informations devraient fournir une assistance pratique à ceux qui en sont aux premières étapes d'intervention dans ce domaine et qui doivent développer leur propre stratégie de gestion du problème de sécurité routière.

Il doit cependant être clair que de telles informations ne peuvent en aucun cas remplacer le besoin d'une analyse objective du bilan de sécurité d'un pays et d'une prise en compte adéquate des spécificités nationales, lesquelles influencent nécessairement le choix de structure de gestion et les priorités d'action.

LECTURES RECOMMANDÉES

Sur les stratégies

- *Targeted road safety programmes*, OECD Road Transport Research Publication, 1994.
- *Transport safety visions, targets and strategies: Beyond 2000*, K.Rumar, ETSC Publication, 1999.
<http://www.etsc.be/eve.htm>
- *Sustainable safety: A preventive road safety strategy for the future*, 2nd edition, G. Schermers and P. van Vliet, AVV Transport Research Centre, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Rotterdam, The Netherlands, 2001.
- *White Paper, European transport policy for 2010: time to decide, Part Three*, European Commission, 2001.
http://europa.eu.int/comm/energy_transport/library/partie3-lb-en.pdf
- *Road safety vision 2001*, Transport Canada, 2000.
<http://www.tc.gc.ca/roadsafety/vision/2000/pdf/RSV.pdf>
- *Sustainable safety in Netherlands*, Theo Janssen, SWOV Publication, 2000.
<http://www.rospa.org.uk/road/congress2000/proceedings/janssen.pdf>

Sur les programmes stratégiques et les plans d'action

- *Every accident is too many, Road safety starts with you – Towards new objectives 2001-2012*, Danish Ministry of Transport, 2000.
- *National road safety action plan 2001 and 2002*. Australian Transport Council Publication.
<http://www.dotrs.gov.au/atc/ACTIONPLAN.PDF>
- *The national road safety strategy 2001 - 2010*, Australian Transport Council Publication.
<http://www.dotrs.gov.au/atc/strategy.pdf>
- *Road safety programme 2001–2005*, Ministry of Transport and Communications Finland Publication.
- *Canada's road safety targets to 2010*, Transport Canada Publication, 2001.
http://www.tc.gc.ca/roadsafety/tp/tp13736/pdf/CRS_Target.pdf

Ouvrages divers sur la sécurité routière

- *Road safety in Africa, methodological guide – feedback from experience 1994 – 2001*, ISTED Publication.
- *Keep death off your roads*, PIARC/GRSP Publication.
- *Roads & highways: Road safety*, The World Bank Group.
<http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/roads/safety.htm>
- *Reports and Publications of GRSP*, A global partnership for sustainable improvement of road safety in developing and transition countries. Site web : <http://www.grsproadsafety.org/>
- *Good-practice guidelines to infrastructural road safety*, October 2002, European Union Road Federation Publication.

RÉFÉRENCES

- Aeron-Thomas, A., Downing, A.J., Jacobs, G.D., Fletcher, J.P., Selby, T. et Silcock, D.T. (2002)** *Review of road safety management practice Final Report*, PR / INT / 216 /2002, DFID, GRSP, TRL, Ross Silcock, Babbie Group Ltd. <http://www.grsproadsafety.org/activities/reports/5/42.pdf>, 54 p.
- Asian Development Bank (1997)** *Road safety guidelines for Asia & Pacific region*, Manila.
- Australian Capital Territory (1995)** *Road safety strategy*.
- Bray, J.S. (1993)** *A realistic safety management system*, Transportation Research Circular, No. 416.
- Bryer, T.E. (1993)** *Safety management in The traffic safety toolbox - A primer on traffic safety*, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC., pp. 11-23.
- Carlsson, G.** *The Swedish national road safety programme, a new approach for coordination of road safety*.
- Danish Road Safety Commission (2000)** *Hver Ulykke Er Én For Meget* (each accident is one too many).
- Department of the Environment, Transport and the Regions (1997)** *Road safety strategy : Current problems and future options*, UK.
- Department of the Environment, Transport and the Regions (1999)** *Highway economics note no. 1*, Evaluation of the benefits of prevention of road accidents and casualties.
- Elvik, R. (1993)** *Quantified road safety targets: a useful tool for policy making*, Accident Analysis and Prevention, V25, N5, pp. 569-583
- European Transport Safety Council (1997)** *A strategic road safety plan for the European Union*.
- Federal Highway Administration (1995)** *Safety management system*, FHWA-HI-95-014, Washington DC.
- GAMBIT (1996)** *Integrated programme of road safety improvement in Poland*.
- Geoffroy, D.N. (1993)** *A management perspective on developing and implementing safety management systems*, Transportation Research Circular, No. 416.
- Gunnarsson, S.O. (1996)** *Traffic accident prevention & reduction review of strategies*, IATSS Research, Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences, V20, N2.
- Gunnarsson, S.O. (1999)** *Traffic Planning, Chapter 2 in Traffic safety toolbox – A primer on road safety*, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC., pp. 15-38.
- Institution of Highways and Transportation (1990)** *Highway safety guidelines: accidents reduction and prevention*, International edition, London.
- Ministry of Transport, Public Works And Water Management (1996)** *Long range programme for road safety 1996-2000*, The Hague.
- Mulder, J.A.G. et Wegman, F.C.M. (1999)** *A trail to a safer country. Conceptual approaches to road safety policy*, R-99-38E. SWOV, Institute for Road Safety Research, Leidschendam.
- Murray, C. et Lopez, A.D. (1996)** *The global burden of disease*. World Health Organisation/Harvard School of Public Health/World Bank, Boston, 900 p.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (1994)** *Targeted road safety programs*.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (1997)** *Road safety principles and models*, 105 p.
- Ross, A., Lundebye, S. et Barrett, R. (1991)** *Road safety awareness and commitment in developing countries*, Infrastructure notes, Transport No. RD-6, Transportation, Water and Urban Development Department, The World Bank.
- Rumar, K. (1994)** *Development of road safety strategies*. Extracts from presentation contributed at the international conference on road safety in Europe, Lille, September 1994, pp. 26-28.
- Safety Studies (1994)** *Road safety policy seminar for Central and Eastern Europe, Module 4*, Budapest, October 1994, pp. 17-21.

Trinca, G., Johnston, I., Campbell, B., Haight, F., Knight, P., Mackay, M., McLean, J. et Petrucelli, E. (1988) *Reducing traffic injury - A global challenge*, 136 pp.

Wegman, F.C.M. (1993) *Lessons to be learned when writing a national road safety plan for Central and East-European countries*, In proceedings of the Conference, Strategic Highway Research Program and Traffic Safety on Two Continents, The Hague.

Wegman, F.C.M., Hollo, P., Lundebye, S., Smith, G. et Werring, L. (1996) *Road accidents worldwide, A problem that can be tackled successfully!* PIARC Committee on Road Safety, 94 p.

CHAPITRE 3

Facteurs de sécurité routière

Michel Labrousse

CHAPITRE 3

Facteurs de sécurité routière

	Page
AVANT-PROPOS	46
3.1 SYSTÈME HUMAIN - ENVIRONNEMENT - VÉHICULE	46
→ 3.1.1 Système élémentaire (HEV)	47
→ 3.1.2 Analyse des accidents	48
3.2 EN PRATIQUE : TROIS PRINCIPES	54
→ 3.2.1 Principe de qualité	54
→ 3.2.2 Principe de cohérence dans l'espace	56
→ 3.2.3 Principe de cohérence dans le temps	57
3.3 INGÉNIERIE DE LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE - IDENTIFICATION	58
→ 3.3.1 Comment détecter les sites dangereux	58
→ 3.3.2 Audits de sécurité routière	60
3.4 CONCLUSION	61
RÉFÉRENCES	63

LISTE DES FIGURES		
Figure 3-1	Facteurs contribuant aux accidents	47
Figure 3-2	Illustration de la contribution de l'humain dans une séquence d'événements	48
Figure 3-3	Interrelations des études de sécurité	48
Figure 3-4	La conduite d'un véhicule	50
Figure 3-5	Exemple - Différentes interprétations pour une même situation	53
Figure 3-6	Exemple – Analyse détaillée d'un accident	53
Figure 3-7	Exemples d'aménagements paysagers qui facilitent la lecture de la route	55
Figure 3-8	Zone de récupération et zone de sécurité	55
Figure 3-9	Exemple - Pente et contre-pente	56
Figure 3-10	Détérioration progressive d'une route de transit	57
Figure 3-11	Méthodes d'identification	58
Figure 3-12	Sécurité objective et subjective	59

LISTE DES TABLEAUX		
Tableau 3-1	Représentation des événements et des circonstances	46
Tableau 3-2	Matrice de Haddon - Liste de facteurs contributifs	47
Tableau 3-3	Rupture et séquence d'accident	50
Tableau 3-4	Analyse séquentielle des accidents de la route	51
Tableau 3-5	Débits et types d'accès sur différentes catégories de route (France)	57
Tableau 3-6	Processus d'amélioration de la sécurité	62

AVANT-PROPOS

On a vu, au chapitre 2, qu'il fallait chercher à résoudre les problèmes de sécurité routière par la mise en œuvre d'actions intégrées qui tiennent compte de chacune des principales composantes du système élémentaire de sécurité routière, c'est-à-dire l'humain, le véhicule et l'environnement routier. Toutefois, pour être en mesure de proposer des actions efficaces, il faut tout d'abord comprendre pourquoi et comment les accidents de la route se produisent. En guise d'introduction aux méthodes de diagnostic de sécurité décrites dans la deuxième partie du manuel, ce chapitre s'amorce par une brève présentation des composantes du système de sécurité et décrit différentes méthodes d'analyse qui ont été développées pour mieux comprendre les mécanismes causant les accidents (*section 3.1*).

Comme ce manuel s'adresse d'abord et avant tout aux ingénieurs en techniques routières, une plus grande importance est accordée dans ce chapitre à la description de la composante « environnement routier » du système de sécurité et tout particulièrement, à la présentation de trois principes de base préalables à l'exploitation de réseaux routiers sécuritaires (*section 3.2*). Il doit cependant être clair que ces principes ne peuvent être considérés indépendamment des deux autres composantes du système, à savoir l'humain et le véhicule.

Finalement, la *section 3.3* introduit le lecteur au domaine de l'identification des lacunes de sécurité des réseaux routiers; ce dernier sujet est par la suite repris avec plus de détails au *chapitre 5*.

3.1 SYSTÈME HUMAIN – ENVIRONNEMENT – VÉHICULE

L'exemple suivant illustre comment les différentes composantes du système humain-environnement-véhicule peuvent toutes contribuer à un même accident (tableau 3-1).

Un conducteur de 20 ans, sans expérience de conduite, circule sur une route qu'il ne connaît pas pour se rendre à un important rendez-vous. La pluie a rendu la chaussée glissante et les pneus du véhicule sont usés. À l'approche d'une courbe dont le rayon de courbure est sous standard, il perd le contrôle de son véhicule et vient buter sur un arbre situé sur les abords de la route.

Tableau 3-1 Représentation des événements et des circonstances

ÉLÉMENTS DU SYSTÈME	ÉVÉNEMENT	CIRCONSTANCE
humain	déplacement	conducteur jeune, stressé, sans expérience
véhicule	choix du véhicule	pneus usés
environnement	pluie	chaussée mouillée, glissante
environnement	courbe	sous standard
humain	changement de direction	braquage excessif
humain	perte de contrôle	accotement non stabilisé
environnement	condition des abords	arbre
IMPACT = ACCIDENT		

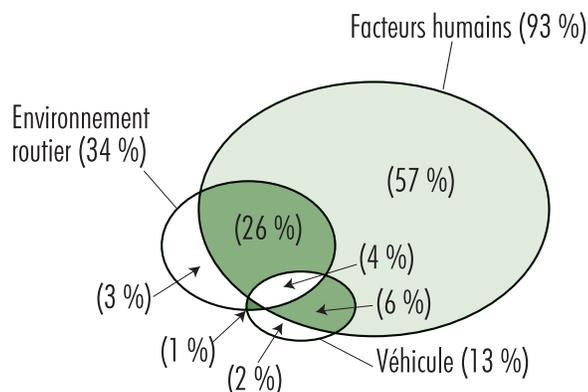
Cet exemple illustre les principes suivants :

- chaque accident résulte d'une succession d'événements qui surviennent dans des circonstances précises;
- chaque événement peut être relié à une des composantes du système de sécurité routière;
- chaque lacune du système résulte de la juxtaposition d'événements défavorables;
- chaque événement est largement déterminé par les circonstances et les événements antérieurs.

Le système humain-environnement-véhicule (HEV) constitue donc un cadre conceptuel propice à l'analyse des accidents et des facteurs sur lesquels on peut agir.

Nombre d'auteurs ont démontré la prédominance du rôle de « l'humain » dans les accidents. Mais même si les facteurs humains sont en cause dans la plupart des accidents, il ne faut pas en conclure qu'il s'agit du seul élément à prendre en compte et à améliorer. Il faut du temps pour modifier le comportement humain et ces changements ne peuvent se produire que très progressivement. L'environnement routier, par contre, peut être modifié rapidement, avec des résultats immédiats. Le diagramme de Venn de la figure 3-1 illustre aussi que l'on peut obtenir des gains significatifs, sur le plan de la sécurité, en intervenant sur l'interface humain-environnement routier.

Figure 3-1 Facteurs contribuant aux accidents



Source : Treat et al., 1979

3.1.1 SYSTÈME ÉLÉMENTAIRE (HEV)

Le détail du système élémentaire de sécurité peut être représenté à l'aide de la matrice de Haddon qui regroupe les trois composantes du système et les trois phases d'un accident (avant, pendant et après) :

Tableau 3-2 Matrice de Haddon - Liste de facteurs contributifs

SYSTÈME	AVANT L'ACCIDENT	PENDANT L'ACCIDENT	APRÈS L'ACCIDENT
HUMAIN	<ul style="list-style-type: none"> état physique <ul style="list-style-type: none"> - fatigue, maladie, médicaments, alcool, handicaps : vue, ouïe, etc. état physiologique <ul style="list-style-type: none"> - stress, inattention, distraction, attitude profil socio-démographique <ul style="list-style-type: none"> - âge, sexe, occupation, niveau d'éducation expérience et habileté <ul style="list-style-type: none"> - expérience de conduite, connaissance du véhicule et de l'itinéraire action <ul style="list-style-type: none"> - manœuvres avant la collision auto-protection <ul style="list-style-type: none"> - ceinture de sécurité, casque 	<ul style="list-style-type: none"> état physique <ul style="list-style-type: none"> - réflexe erreurs <ul style="list-style-type: none"> - image mentale erronée de la route - mauvaise évaluation des distances et de la vitesse - manœuvres inappropriées action <ul style="list-style-type: none"> - vitesse - freinage - positionnement - avertissements 	<ul style="list-style-type: none"> état physique <ul style="list-style-type: none"> - résistance à l'impact état physiologique <ul style="list-style-type: none"> - choc émotif expérience et habileté <ul style="list-style-type: none"> - sécurité d'abord - protection de la scène de l'accident action <ul style="list-style-type: none"> - appel des secours - manœuvres après l'accident
VÉHICULE	<ul style="list-style-type: none"> facteurs matériels <ul style="list-style-type: none"> - type, marque, couleur, puissance état mécanique <ul style="list-style-type: none"> - freins, pneus, suspension, phares, etc. dommages <ul style="list-style-type: none"> - externes, internes état en conduite <ul style="list-style-type: none"> - objets, position des occupants - bagages faisant obstruction 	<ul style="list-style-type: none"> activation de la sécurité passive <ul style="list-style-type: none"> - résistance à la déformation - coussins gonflables - appel de secours 	<ul style="list-style-type: none"> traitement des véhicules endommagés
ENVIRONNEMENT ROUTIER	<ul style="list-style-type: none"> géométrie <ul style="list-style-type: none"> - profil en long, en plan, en travers état de la surface <ul style="list-style-type: none"> - adhérence, uni - débris, contamination environnement <ul style="list-style-type: none"> - urbain, rural - panneaux-réclame, commerces - débit de circulation - type d'usagers de la route équipement <ul style="list-style-type: none"> - signalisation, marquage, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> zone de récupération <ul style="list-style-type: none"> - accotement, voie de secours - refuge central abords de route <ul style="list-style-type: none"> - zone critique - zone de transition - zone de travaux environnement inhabituel lacune <ul style="list-style-type: none"> - entretien-éclairage - obstacles sur la route 	<ul style="list-style-type: none"> signalement de l'accident nettoyage de la chaussée

3.1.2 ANALYSE DES ACCIDENTS

Un accident résulte d'une rupture d'équilibre entre les trois éléments du système humain-véhicule-environnement.

Recherches

Les recherches sur les accidents de la route ont conduit, avec le temps, à l'établissement d'un cadre théorique et méthodologique pour leur analyse (Organisation de coopération et de développement économiques¹, 1984).

Les accidents sont des événements aléatoires ayant des causes multiples qui sont en partie de nature déterministe (sur lesquelles on peut agir) et en partie de nature stochastique (sur lesquelles on n'a aucune prise).

Les recherches les plus récentes, qui tiennent compte de la nature dynamique du transport et de l'occurrence des accidents, ont donné naissance à la méthode dynamique multi-causale.

Méthode dynamique multi-causale

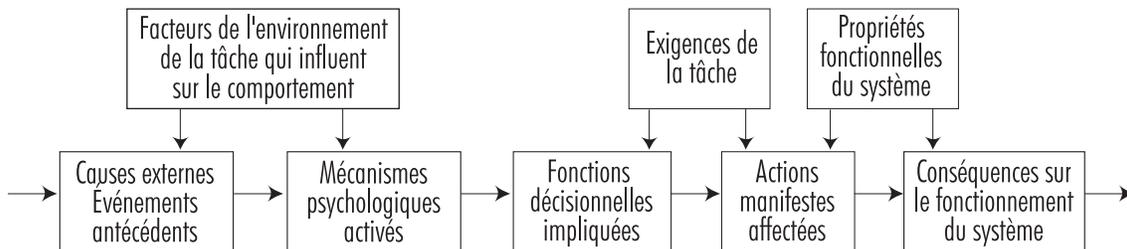
Cette méthode fait appel à :

- des modèles d'accidents de la route;
- des outils et des méthodes d'enquête permettant les reconstitutions d'accidents.

Ces méthodes s'appuient sur :

- les reconstitutions cinématiques d'accidents à partir de traces de pneus, de déformations des véhicules et d'autres indices matériels;
- une application des méthodes d'analyse à l'aide d'arbres de défaillances, telle qu'illustrée à la figure 3-2 pour décrire la séquence de déroulement de l'accident.

Figure 3-2 Illustration de la contribution de l'humain dans une séquence d'événements



Source : Rasmussen, 1990 (dans : INRETS rapport no. 218)

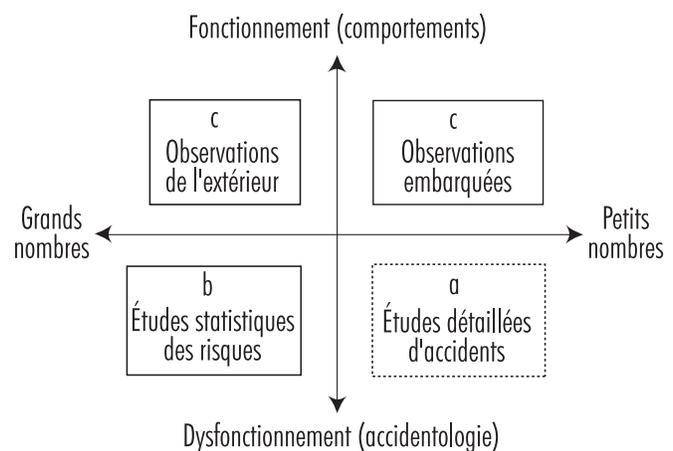
Typologie des études de sécurité

L'analyse des accidents (défaillances) ne suffit pas à elle seule à expliquer les rapports entre les éléments du système humain-environnement-véhicule. Une analyse des situations dans lesquelles le système fonctionne bien est également nécessaire.

Il importe également de différencier les analyses quantitatives (portant sur de grands nombres) et les analyses qualitatives (petits nombres).

Le schéma suivant (figure 3-3) illustre la typologie des études de sécurité et leur nature complémentaire, établie sur la base de ces considérations.

Figure 3-3 Interrelations des études de sécurité



Source : Van Elslande et Malaterre, 1996

¹ Organisation de coopération et de développement économiques, en anglais : Organisation for Economic Co-operation and Development.

Ce schéma (figure 3-3) suggère les observations suivantes :

a) à propos de l'analyse détaillée d'accidents à un site particulier.

Il faut se rappeler que l'objectif n'est pas d'étudier les accidents en eux-mêmes mais plutôt d'en extraire des renseignements susceptibles d'empêcher la répétition future d'événements similaires. La question fondamentale est donc de savoir jusqu'à quel point il est possible, à partir des accidents passés, de prévoir des événements à venir, c'est-à-dire les accidents que l'on souhaite prévenir. La réponse est bien sûr que plus le nombre d'accidents est faible, moins il est probable qu'on puisse en tirer suffisamment d'informations pour permettre de prévenir des accidents futurs. C'est pour cette raison que sur les routes peu fréquentées, on utilise surtout la méthode décrite au point c) ci-après. Toutefois, l'analyse des accidents passés demeure toujours instructive et ne doit jamais être négligée, même s'ils sont peu fréquents.

b) à propos de l'analyse statistique des risques d'un grand nombre d'accidents, par rapport aux débits (véhicules, piétons).

L'observation précédente demeure valide : les données d'accidents passés ne peuvent fournir que des informations partielles sur les accidents futurs, et cette information est d'autant plus limitée que le nombre d'accidents est faible. C'est ce qui explique les calculs, parfaitement justifiés, d'intervalles de confiance et de tests statistiques, qui ne sont pas simplement des fantaisies à réserver aux seuls spécialistes.

Plus important encore : les nombres bruts d'accidents et de victimes sur un site ne fournissent pas une information très utile (à part l'importance des « enjeux » en cause). Les taux d'accidents (accidents/débits) permettent une meilleure identification des sites dangereux. En effet, une fréquence élevée d'accidents peut simplement être attribuable à un niveau d'exposition élevé (volumes élevés de véhicules ou de piétons). Par exemple, le nombre d'accidents par kilomètre est souvent plus élevé sur les autoroutes que sur les routes rurales secondaires, même si les premières sont intrinsèquement plus sûres (quant au nombre d'accidents par kilomètre parcouru). La raison en est tout simplement que les débits sont beaucoup plus élevés sur les autoroutes.

Une fréquence d'accident à un site (f) peut être vue comme étant le résultat du produit d'un niveau de risque ou taux d'accident (f/Q) par un niveau d'exposition (Q) :

$$f = \frac{f * Q}{Q} \quad [\text{Eq. 3-1}]$$

Suivant que la fréquence d'accidents à un site s'explique par le niveau de risque (f/Q) ou par l'intensité des débits (Q), les mesures envisagées ne seront pas les mêmes.

- pour un niveau de risque élevé, il faut viser à diminuer le risque d'accident en modifiant certaines caractéristiques de l'environnement routier ou même en changeant l'environnement lui-même (p. ex. en transformant une intersection conventionnelle en un carrefour giratoire);
- dans l'autre cas (débits de circulation élevés), il faut plutôt viser à améliorer la gestion des débits (p. ex. en offrant des configurations plus sûres et une priorité de passage lorsque les débits sont plus forts). On peut aussi vérifier s'il est possible de réduire la demande en transport ou d'effectuer certains transferts vers des modes plus sécuritaires.

L'objectif premier de l'analyse statistique des accidents doit donc être de quantifier les niveaux de risque, de détecter les risques anormaux et d'examiner les concentrations d'accidents qui ne s'expliquent pas du seul fait des débits élevés.

Il s'avère donc nécessaire de connaître les débits (véhicules, piétons, etc.) et d'évaluer les taux d'accidents.

- sur les routes rurales, le taux généralement utilisé est le nombre d'accidents enregistrés par 100 millions de véhicules-kilomètres;
- sur les routes urbaines, d'autres taux peuvent aussi être calculés (p. ex. le ratio entre le nombre de piétons heurtés en traversant la chaussée et les débits de piétons correspondants);
- aux intersections, on peut calculer divers taux en comparant le nombre d'accidents soit au débit entrant total, soit au débit sur la route secondaire, ou encore en comparant certains types de collisions aux débits pertinents.

Les analyses statistiques d'accidents doivent être validées par des calculs d'intervalles de confiance et d'autres tests statistiques, afin de garantir la validité des résultats obtenus.

Le chapitre 5 décrit de façon détaillée comment calculer les **taux d'accidents** et les **taux d'accidents critiques**.

c) à propos des observations

Le fait que les données sur les accidents passés ne fournissent qu'une information partielle sur les accidents futurs ne justifie pas que l'évaluation des risques se fasse sur la seule base de jugements intuitifs. Il faut encourager le recours à des informations objectives basées sur des études et des recherches à grande échelle plutôt que de se limiter à l'usage de données purement locales.

De telles études peuvent en effet démontrer qu'une configuration de route donnée peut, avec certaines combinaisons d'environnements et d'usages routiers, être moins sécuritaire qu'une autre. Elles peuvent aussi démontrer que les accidents qui se produisent à un certain type de site surviennent selon un mécanisme spécifique.

Lorsqu'il étudie un site pour en évaluer le niveau de sécurité, l'analyste tient compte des connaissances accumulées lors d'études antérieures effectuées à d'autres sites semblables. Ces connaissances devraient permettre de compléter les analyses, surtout lorsque les données d'accidents sont peu nombreuses ou inexistantes, ce qui est le cas pour les routes peu fréquentées ou nouvellement construites (**problèmes aux sites semblables**).

En résumé, les analyses de sécurité routière doivent être basées sur deux sources d'information, soit l'observation et les données d'accidents, et elles doivent faire appel à l'analyse quantitative et qualitative. Un exemple de méthodologie d'analyse est présenté dans les prochains paragraphes.

Analyse séquentielle des accidents

Dans ce type d'analyse, on subdivise le déroulement de l'accident en une **rupture initiale** provoquée par l'une des parties en cause (situation d'accident qui s'accompagne d'un changement brusque vers une situation très dégradée), suivie d'une **seconde rupture**, en l'occurrence l'impact (tableau 3-3).

Brenac (1997) propose une méthode simple pour effectuer ce type d'analyse à partir d'une comparaison des rapports d'accidents et des indices matériels qui sont disponibles lors de l'analyse d'un accident. Un résumé de la méthode est présenté au tableau 3-4.

RUPTURE	SÉQUENCE D'ACCIDENT
Rupture initiale	Situation de conduite Situation d'accident
Seconde rupture	Situation d'urgence Situation de choc

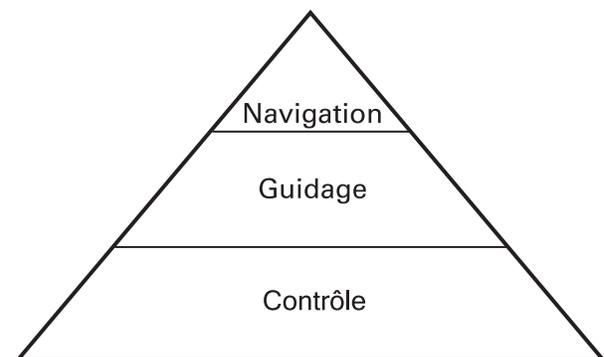
Source : Brenac, 1997

Facteurs humains

Les analyses de sécurité exigent la connaissance d'un certain nombre de concepts essentiels liés à la tâche de conduite et aux mécanismes qui portent les conducteurs à commettre des erreurs. La description qui suit est tirée de Lunenfeld et Alexander, 1990.

La tâche de conduite d'un véhicule peut être schématisée à l'aide d'une superposition de trois niveaux d'exécution : le contrôle, le guidage et la navigation (figure 3-4). La quantité d'information complexe devant être traitée par le conducteur augmente en passant du contrôle à la navigation alors que l'importance de chaque niveau pour la sécurité diminue de la navigation au contrôle.

Figure 3-4 La conduite d'un véhicule



Source : Lunenfeld et Alexander, 1990

Tableau 3-4 Analyse séquentielle des accidents de la route

1. Examiner l'ensemble du rapport d'accident, en prêtant une attention spéciale aux déclarations des parties en cause et des témoins, au déroulement des événements et aux photos disponibles.

Pour utiliser une déclaration, il faut qu'elle soit crédible. Par ailleurs, il ne s'agit pas non plus de rejeter d'emblée tout ce qui ne semble pas s'expliquer au premier abord, en pensant qu'il s'agit d'une déclaration qui n'est pas digne de confiance. Il est possible, par exemple, qu'un conducteur ne perçoive pas un objet qui se trouve pourtant dans son champ de vision (du fait de facteurs sensoriels ou psychologiques).

ANALYSE SÉQUENTIELLE DE L' ACCIDENT

2. Déterminer l'événement qui a créé la situation d'accident (**rupture initiale**)

Pour déterminer les éléments constitutifs de la rupture, il faut essayer de répondre à la question suivante : si l'accident était vu du haut des airs, à partir de quel moment, de quel événement ou de quelle conjonction d'événements pourrait-on dire que la situation s'est sérieusement dégradée?

3. Décrire les événements survenus pendant le déroulement de l'accident, en situant chacun d'eux dans l'une des phases de l'accident :

Situation de conduite *Que faisait le conducteur (ou le piéton) avant l'accident?*

Situation d'accident *Réconcilier les déclarations de tous les témoins, pour avoir une vue d'ensemble.*

Situation d'urgence *L'une des parties a-t-elle effectué une manœuvre quelconque? Si oui, laquelle?*

Situation d'impact *Comment l'impact s'est-il produit?*

4. Chercher à préciser les faits pour reconstituer chaque phase, en précisant ce qui s'est - et ne s'est pas - déroulé normalement dans le système humain-environnement-véhicule

Ex. : la voiture de X a calé, X pensait avoir le temps de..., X n'a pas vu...

5. Remplir une fiche d'analyse pour enregistrer cette description du déroulement de l'accident.

EXAMEN DES FACTEURS DE RISQUE D'ACCIDENT

6. Rechercher les facteurs de risque d'accident et les facteurs de gravité et compléter une fiche descriptive en conséquence.

Facteur de risque d'accident : *état d'un élément du système humain-environnement-véhicule nécessaire (mais non suffisant à lui seul) pour que l'accident se produise et pour lequel il serait possible de prendre des mesures.*

Facteur de gravité : *facteur qui n'a aucune influence sur l'origine de l'accident mais contribue à la gravité de l'impact.*

OBSERVATIONS AU SITE, S'IL Y A LIEU, ET REVUE DE L'ANALYSE

7. Effectuer, au besoin, des observations et des mesures au site.

Ces observations et ces mesures ne devraient cependant pas être effectuées avant d'avoir complété les étapes précédentes. Il s'agit en effet de tirer un enseignement de l'accident à l'étude et non pas de déterminer toutes les lacunes potentielles du site, dont plusieurs peuvent n'avoir aucun rapport avec l'accident. Si l'analyste fait d'abord des observations au site, il pourrait détecter des éléments sous standards de la route et être tenté de rechercher dans le rapport d'accident, des arguments pour justifier leur correction (au lieu de rechercher les causes véritables de l'accident à l'étude).

Le **contrôle** a trait à toutes les activités d'interface entre le conducteur et son véhicule : action sur les commandes, lecture des cadrans. Il varie en fonction du type et du modèle de véhicule (véhicule passager à transmission automatique et direction assistée, camion lourd à transmission manuelle). L'information gérée par le conducteur provient des sensations qu'il ressent en fonction du mouvement du véhicule, des indications du tableau de bord et des perceptions que lui communique la route; il doit constamment rectifier son action de contrôle en fonction de tous ces éléments mais il s'agit de tâches largement mémorisées pouvant être exécutées automatiquement.

Le **guidage** comprend toutes les activités qui lui permettent de diriger son véhicule et d'adapter sa vitesse en fonction de la route et des autres usagers. Ce sont des activités qui exigent jugement, évaluation et anticipation et qui doivent être constamment adaptées dans un environnement en perpétuel changement.

La **navigation** comprend les préparatifs du déplacement (p. ex. lecture de la carte, mémorisation de l'itinéraire) et sa gestion (détermination de l'endroit où l'on se trouve en fonction des repères géographiques et de la lecture de la signalisation de direction). Ces activités sont de nature cognitive et mentale.

Une conduite efficace et bien exécutée exige donc du conducteur qu'il perçoive tous ces stimuli et effectue toutes ces activités. La tâche de conduite, comme l'explique le manuel *Users' guide to Positive guidance*, Lunenfeld et Alexander (1990), doit prendre en compte les capacités physiologiques et mentales du conducteur :

- perception sensorielle, essentiellement visuelle : acuité visuelle, champ de vision;
- réaction suffisamment rapide qui est fonction du processus information-décision-action;
- mémoire;
- anticipation, suivant la représentation mentale que se fait le conducteur de la route et de la situation à gérer;
- capacité à bien prioriser les tâches.

Les caractéristiques de la route et de ses abords (arbres, signalisation, urbanisation le long de la route) influencent fortement la représentation mentale que se fait le conducteur. Selon le *Positive guidance*, il faut distinguer entre les attentes à priori (qui résultent de l'expérience acquise tout au long de la vie d'un conducteur) et les attentes spécifiques (qui résultent de l'expérience de conduite acquise durant le déplacement en cours).

Si la route possède des caractéristiques différentes de celles que le conducteur se représente mentalement, il ne peut adapter sa conduite, ce qui peut occasionner des erreurs humaines.

Erreur humaine

Il n'existe pas de modèle universel qui permette de décrire en détail le mécanisme de production des erreurs (Leplat, 1985). Selon divers auteurs (De Keyser, 1989, Cellier, 1990, Reason, 1993, Neboit, 1996), les modèles d'analyse et de classement des erreurs se sont développés selon différents courants de recherche et ils peuvent être répartis en quatre types de représentation des erreurs :

Erreurs attribuables au dépassement de la capacité cognitive : elles se produisent lorsque la capacité de traitement d'information de la personne est saturée, ce qui peut être attribuable à un relâchement de la vigilance, à la dégradation des capacités fonctionnelles ou, de façon plus générale, à un déséquilibre entre la tâche à exécuter et les ressources dont un individu dispose pour l'exécuter (Neboit, 1996).

Exemples :

- *relâchement de la vigilance dû à la fatigue, à l'accoutumance, au stress.*

Erreur attribuable à une défaillance touchant une tâche élémentaire : l'erreur a trait à la tâche de contrôle, de guidage ou de navigation, selon la description de la tâche de conduite de la section précédente.

Exemples :

- *inaptitude à maintenir la trajectoire du véhicule;*
- *mauvaise coordination de tâches simultanées;*
- *mauvaise appréciation des distances;*
- *mauvaise compréhension de l'environnement routier.*

Erreur attribuable à une défaillance de raisonnement : cette approche (Newell et Simon, 1972) insiste sur le découpage des différentes étapes de raisonnement lors de la recherche de résolution d'un problème. Elle compare le raisonnement humain au traitement de symboles d'information avec un ordinateur. Selon cette approche, l'erreur est attribuable à une opération qui, à une étape quelconque du raisonnement, n'a pas respecté la logique de programmation qui aurait permis de parvenir à la solution.

Exemple : *traitement d'un événement inattendu en parcourant un itinéraire connu.*

Erreur attribuable à une distorsion entre la représentation mentale et la réalité : cette approche est le résultat de travaux récents qui décrivent le fonctionnement humain du point de vue des processus de structures des connaissances à partir desquelles une personne se représente les situations auxquelles elle a à faire face. La façon dont elle traite chaque situation résulte de la comparaison entre ces représentations et l'information qui émane de cette situation. L'erreur survient lorsqu'il y a divergence entre cette représentation et la réalité qu'elle est censée représenter (figure 3-5).

Certains travaux ont été entrepris pour proposer aux praticiens de nouvelle façon de concevoir des projets routiers : comment combiner les principes de conception routière et de planification urbaine pour que les représentations mentales que se font les usagers de la route soient conformes à la réalité.

Résumé

Les méthodes d'analyse énumérées ci-dessus peuvent être résumées sous la forme d'un scénario d'erreur normalisé, comme dans l'exemple suivant (figure 3-6) :

Figure 3-5 Exemple – Différentes interprétations pour une même situation

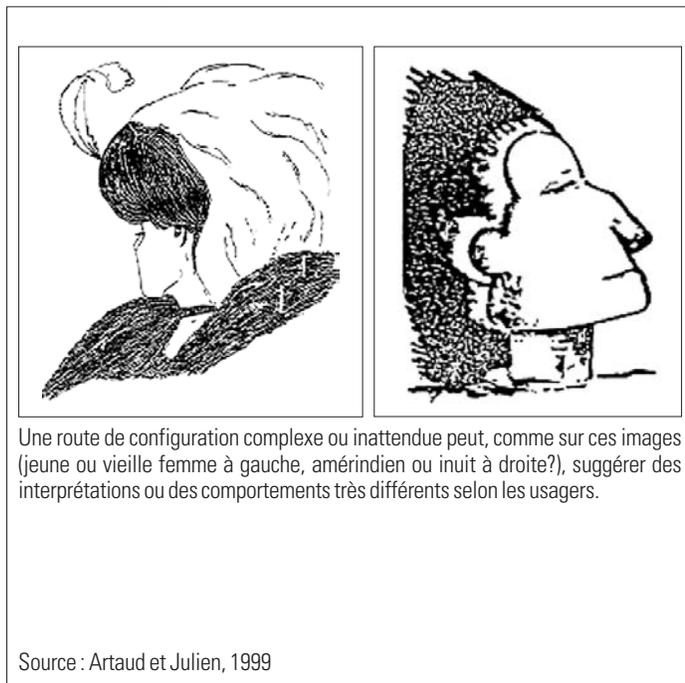
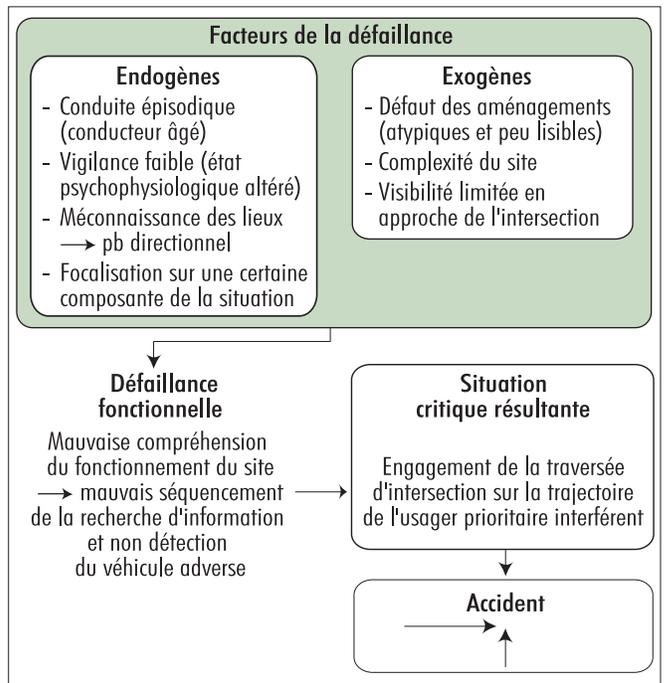


Figure 3-6 Exemple – Analyse détaillée d'un accident



3.2 EN PRATIQUE : TROIS PRINCIPES

Il n'est pas possible d'exprimer sous une forme simple les exigences touchant la sécurité routière. Elles doivent prendre en compte les facteurs qui contribuent à la fois au bon fonctionnement et aux défaillances du système.

La principale responsabilité d'une administration routière est d'agir sur l'élément « environnement routier ». Mais un examen rapide de la *figure 3-1* permet de constater qu'il est essentiel de considérer aussi l'interaction humain-environnement routier, que d'aucuns appellent « l'ergonomie de la route ». Les interactions route-véhicule concernent quant à elles l'adéquation entre les caractéristiques géométriques, la performance dynamique des véhicules et l'ergonomie de la conduite.

Au cours des prochaines années, les nouvelles technologies de systèmes de transport intelligents (S.T.I.) viendront considérablement modifier les interactions entre les véhicules et les deux autres composantes du système. Même s'il est encore trop tôt pour discuter de cet aspect, il est certain que les principes de base invoqués ci-dessous demeureront valides.

Pour garantir la sécurité d'exploitation du réseau, l'ingénierie routière doit respecter trois principes :

Le principe de la **QUALITÉ** : cinq exigences à satisfaire

- visibilité;
- lisibilité de la route;
- adaptation de l'infrastructure aux contraintes dynamiques des véhicules;
- possibilités d'évitement et de récupération;
- limitation de la gravité des impacts.

Le principe de la **COHÉRENCE** dans l'**ESPACE**

- pleine cohérence de tous les éléments de la route avec leur environnement;
- cohérence des caractéristiques de la route le long d'un itinéraire.

Le principe de la **COHÉRENCE** dans le **TEMPS** : planification des tracés.

3.2.1 PRINCIPE DE QUALITÉ

Les cinq exigences suivantes sont à satisfaire :

Visibilité

On estime qu'environ 90 % des informations utilisées dans la conduite d'un véhicule sont de nature visuelle; il faut donc s'assurer que la qualité des informations visuelles présentes dans l'environnement routier contribue à faciliter la conduite du véhicule.

L'information visuelle est-elle perceptible à temps, en fonction des vitesses pratiquées, pour permettre aux usagers d'adapter leur comportement aux situations vécues? Les piétons et autres usagers souhaitant traverser la route peuvent-ils voir assez loin pour avoir le temps de comprendre la situation, de décider de traverser ou non et de compléter leur manœuvre de façon sécuritaire?

En France, la distance de visibilité recommandée aux intersections est de 8 secondes (6 secondes étant le minimum absolu), à la vitesse V_{85}^2 , sur la route principale. Sur les routes à trois voies ou les routes divisées à deux voies dans chaque sens, ces valeurs sont augmentées à 9 et 7 secondes respectivement (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1994).

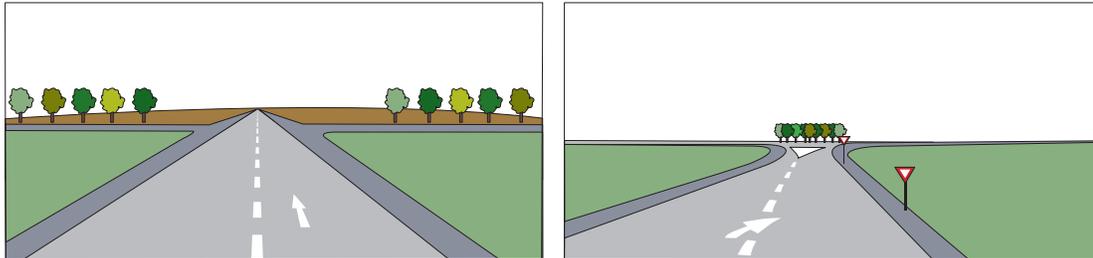
Pour plus de détails, consulter la fiche technique *Distance de visibilité*.

² V_{85} : Vitesse à laquelle ou sous laquelle circulent 85 % des véhicules.

Lisibilité de la route

La route et ses abords sont-ils assez faciles à comprendre pour que l'utilisateur puisse rapidement déterminer où il se trouve, quelle est la direction à suivre et prévoir ce qui l'attend (manœuvres des véhicules et des piétons, modifications aux caractéristiques de l'infrastructure, etc.), afin de pouvoir adapter son comportement en conséquence (figure 3-7).

Figure 3-7 Exemples d'aménagements paysagers qui facilitent la lecture de la route



Ces aménagements attirent l'attention du conducteur et facilitent la compréhension du tracé de la route :

à gauche : rangée d'arbres qui rend la route secondaire plus visible

à droite : écran d'arbustes qui annonce la fin d'une route

Source : Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1998

Pour plus de détails, consulter la fiche technique **Facteurs humains**.

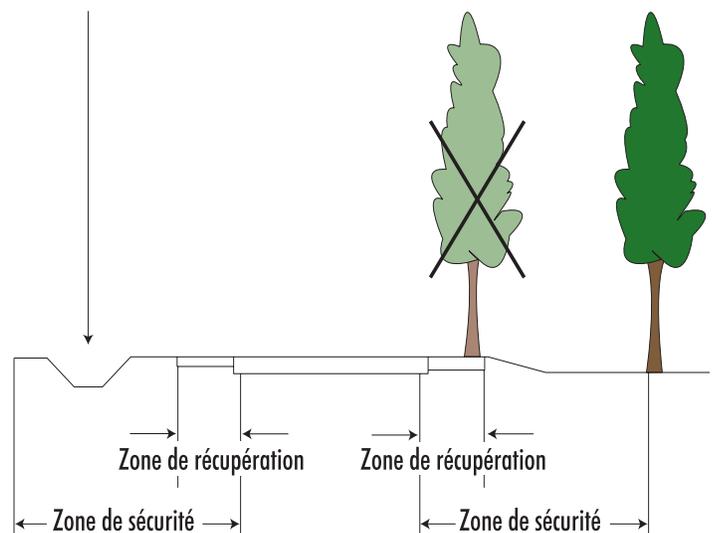
Adaptation de l'infrastructure aux contraintes dynamiques des véhicules

Les caractéristiques de la route permettent-elles de minimiser les risques de défaillance dynamique (dérapage, renversement, etc.), selon les vitesses pratiquées.

Exemples :

- changement brusque de rayon de courbure horizontale;
- défaut d'adhérence à l'approche d'une intersection;
- dos d'âne sur une route propice aux vitesses élevées (route principale en milieu rural);
- marquage de chaussée pouvant occasionner des pertes de contrôle des deux-roues.

Figure 3-8 Zone de récupération et zone de sécurité



Source : Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1994

Possibilités d'évitement et de récupération

L'infrastructure pardonne-t-elle, c'est-à-dire, permet-elle les manœuvres d'évitement ou de récupération en cas de situation critique (ou un accident est-il alors susceptible de se produire)? (figures 3-8 et 3-9.)

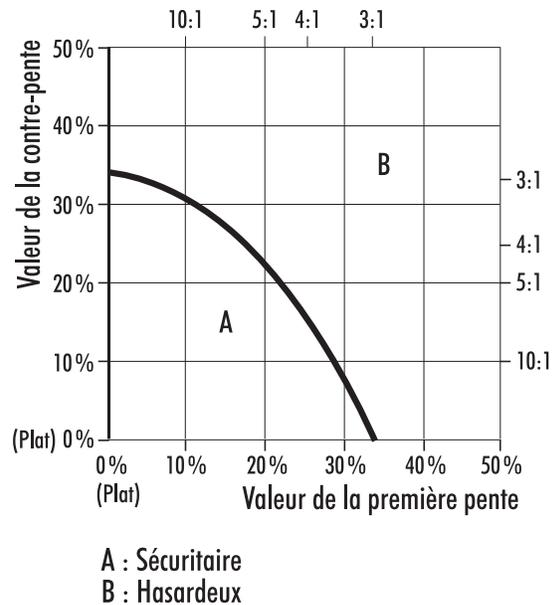
Limitation de la gravité des impacts

Les obstacles rigides situés sur les abords de la route sont-ils suffisamment rares et éloignés pour ne pas aggraver les conséquences d'un accident? Sont-ils protégés (équipement de sécurité telle une glissière) ou fragilisés, lorsqu'on ne peut les enlever?

Les pentes des talus (fossés, digues, etc.) sont-elles assez faibles pour ne pas entraîner de collisions ou provoquer de renversement?

La vitesse probable d'impact, largement tributaire de la vitesse précédant la **situation d'accident**, est-elle suffisamment basse (surtout en cas de collision avec un piéton ou un deux roues)?

Figure 3-9 Exemple - Pente et contre-pente



Source : Guide for Selecting, Locating and Designing Traffic Barriers, Copyright 1977, par l'American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reproduit avec permission.

3.2.2 PRINCIPE DE COHÉRENCE DANS L'ESPACE

L'évaluation de la qualité d'une route en regard de ce principe ne peut s'effectuer qu'en prenant en compte la vitesse adoptée par les usagers, à son tour conditionnée par le principe de lisibilité de la route. La cohérence dont il est ici question est à deux volets.

Pleine cohérence de tous les éléments de la route avec l'environnement

Exemples de situations dangereuses :

- routes qui présentent des caractéristiques propices à la vitesse (séparation médiane, intersections dénivelées) tout en conservant certains éléments incompatibles avec de telles vitesses (entrées privées, accotements étroits, obstacles rigides en bordure de la route, etc.);
- rues résidentielles non adaptées aux usages locaux et à la présence de piétons et d'autres usagers non motorisés (réseaux routiers quadrillés, alignements droits, voies larges, etc.).

Cohérence sur toute la longueur d'un itinéraire

Afin que les usagers puissent adopter des comportements de conduite sécuritaires, ils doivent être en mesure de reconnaître facilement le type d'infrastructure routière sur laquelle ils circulent et de prévoir les situations pouvant être rencontrées en cours de déplacement. Cela exige l'établissement d'un solide système de catégorisation routière qui attribue à chacune des classes de route un ensemble distinct et cohérent de caractéristiques (tableau 3-5) :

- l'établissement d'un bon système normalisé de catégorisation routière aide les usagers à reconnaître le niveau de service auquel ils peuvent s'attendre;
- le traitement homogène de toutes les routes d'une même catégorie favorise la sécurité;
- lorsque les caractéristiques d'une route ne peuvent être homogènes sur l'ensemble d'un itinéraire, il faut accentuer les mesures visant à avertir les usagers qu'ils s'approchent d'une zone de transition.

Tableau 3-5 Débits et types d'accès sur différentes catégories de route (France)

	TYPE DE ROUTE	NIVEAU DE TRAFIC	AUTRES CARACTÉRISTIQUES
RÉSEAU STRUCTURANT	Deux chaussées : Autoroutes	Intense	- route neuve; - carrefours dénivelés;
	Une chaussée : Routes principales	Moyen ou faible	- accès interdits; - pas de traversée d'agglomération.
AUTRES ROUTES	Deux chaussées : Artères interurbaines	Intense	- aménagement sur place; - carrefours plans;
	Une chaussée : Routes secondaires	Moyen ou faible	- accès possibles; - traversées d'agglomérations possibles.

3.2.3 PRINCIPE DE COHÉRENCE DANS LE TEMPS

La sécurité routière est fortement influencée par les changements de la circulation, qu'ils soient planifiés ou non (figure 3-10). Les changements planifiés sont généralement élaborés à l'intérieur de trois phases d'études d'un projet, soit l'étude préliminaire, la conception préliminaire et la conception détaillée. La sécurité routière doit être adéquatement prise en compte à chacune de ces phases de développement d'un projet.

Étude préliminaire

- cohérence sur toute la longueur d'un itinéraire;
- définition des améliorations par étape, selon l'évolution des débits de circulation.

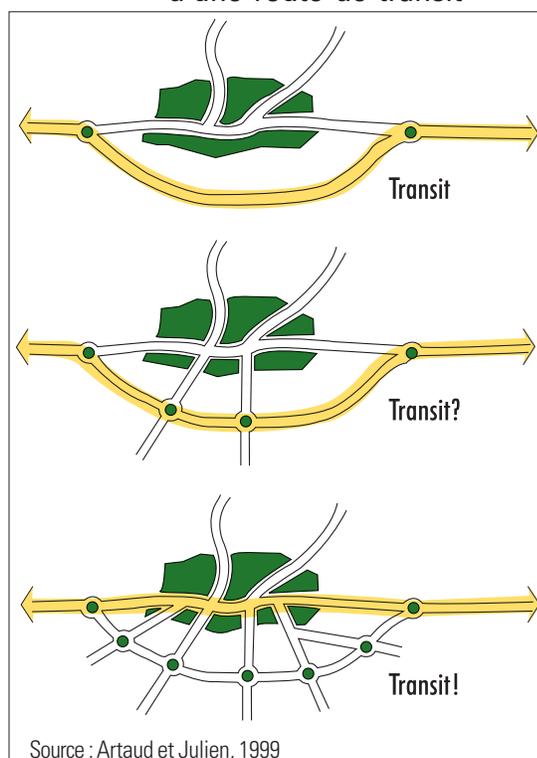
Conception préliminaire

- tracé de la route et de ses caractéristiques principales : (choix des types d'intersections, largeur de chaussée, etc.).

Conception détaillée

- équipements de sécurité, panneaux de signalisation;
- traitement des points critiques.

Figure 3-10 Détérioration progressive d'une route de transit



Source : Artaud et Julien, 1999

3.3 INGÉNIERIE DE LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE

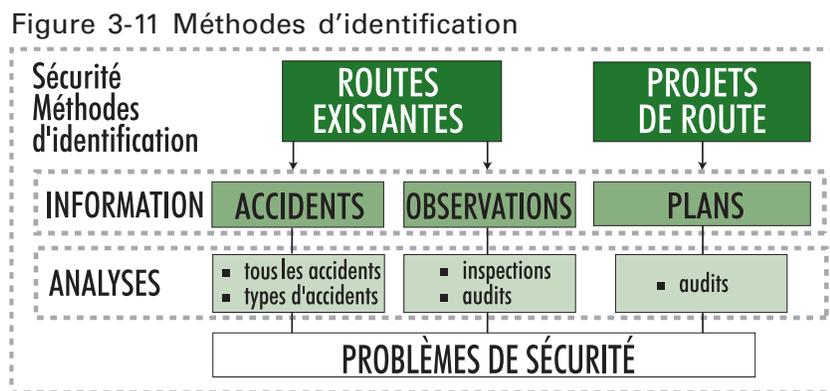
L'ingénierie de la sécurité routière englobe toutes les activités, les travaux ou les études qui visent à améliorer la sécurité de l'infrastructure routière. Un sommaire des actions possibles a été présenté au **tableau 2-3**.

Cette section décrit les principes de base de l'identification de situations hasardeuses, du point de vue de l'ingénierie routière. Certains des points discutés font l'objet d'un traitement plus détaillé au **chapitre 5** et des liens vers les parties pertinentes de ce chapitre sont proposés au besoin.

3.3.1 COMMENT DÉTECTER LES SITES DANGEREUX

Les plans d'actions en sécurité routière devraient prévoir la mise en œuvre d'un programme d'amélioration de sites dangereux (tel que décrit dans la **Partie 2** de ce manuel).

La première difficulté que soulève l'application d'un tel programme est d'ordre méthodologique, à savoir : comment identifier les sites dangereux. Le schéma suivant extrait de la **figure 5-9** résume les principales méthodes d'identification (figure 3-11).



Mesures objectives et subjectives de sécurité

La nécessité, sur le plan social, d'améliorer la sécurité routière peut s'exprimer sous quatre formes différentes, selon la nature du danger en cause :

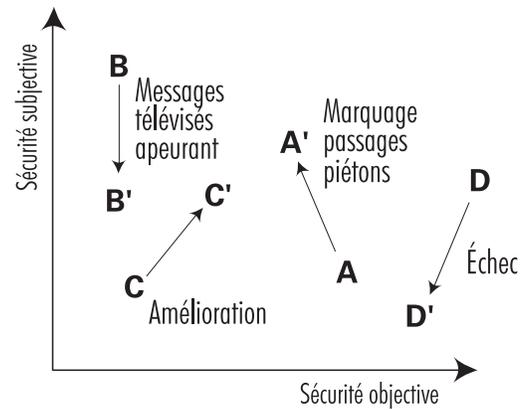
- danger démontré : (mesure objective) mesure objective de la sécurité, basée sur les statistiques d'accidents.
- danger potentiel : (mesure objective) mesure scientifique, basée sur le calcul du risque d'accident en fonction des caractéristiques de la route et des volumes de circulation.
- danger expérimenté : (mesure subjective) mesure subjective exprimée par les usagers; souvent très différente d'un danger démontré ou potentiel.
- danger intolérable : (mesure subjective) certains accidents sont jugés inacceptables par la société, même si le risque d'occurrence n'est pas anormalement élevé : accidents avec des enfants, véhicules traversant la bande centrale d'une autoroute, etc.

Il peut y avoir des différences importantes entre la sécurité objective et la sécurité subjective (figure 3-12). Ainsi, Hauer (1997) explique que le marquage des passages pour piétons, généralement perçu par les usagers comme améliorant la sécurité (subjective) peut en fait être préjudiciable à la sécurité objective car il augmente le risque d'accident (selon les résultats de Herms, 1972).

Le traitement des *dangers démontrés* et des *dangers potentiels* (sécurité objective) fait appel à des méthodes scientifiques rationnelles :

- recueil et traitement de données d'accidents (**chapitre 4**);
- méthodes objectives d'identification :
 - basées sur les données d'accidents (**section 5.3**);
 - basées sur les observations (**section 3.3.2** et **section 5.4**).

Figure 3-12 Sécurité objective et subjective



Source : Hauer, 1997

Pour les problèmes de *dangers expérimentés* ou de *dangers intolérables* (sécurité subjective), il faut plutôt communiquer avec les usagers et les riverains, afin de les informer des conséquences des mesures qu'ils ont pu proposer :

- en leur fournissant des chiffres objectifs sur les accidents ou les risques, comparés à d'autres situations;
- en expliquant les avantages et les inconvénients des solutions spontanées qui ont été proposées.

Indicateurs de sécurité

Divers indicateurs de sécurité peuvent être utilisés pour détecter et ordonnancer les problèmes de sécurité d'un réseau (**chapitre 5**) :

L'indicateur de fréquence d'accidents permet de détecter un site lorsque sa fréquence d'accidents est anormalement élevée par rapport au seuil de détection établi. Par exemple, un tronçon de route rurale qui montre une fréquence de trois accidents par an et par km peut être considéré dangereux si la fréquence moyenne correspondante ailleurs sur le réseau est d'un seul accident. La méthode des « points noirs » est à rattacher à cet indicateur : c'est le cas en France, où l'on définit comme point noir tout tronçon de moins de 850 m où il se produit plus de dix accidents graves au cours d'une période de cinq ans.

L'indicateur de taux d'accidents permet de déterminer les sites routiers présentant une fréquence d'accidents anormalement élevée pour les volumes de circulation en cause. Le taux d'accidents, c'est-à-dire le rapport entre la fréquence d'accidents et le volume de trafic, tient compte de l'exposition au risque et il se calcule à l'aide de l'équation suivante² (**taux d'accidents**) :

$$\text{taux d'accidents} = \frac{\text{fréquence d'accidents} * 10^8}{365 * DJMA * \text{longueur de section}} \quad [\text{Eq. 3-2}]$$

Une route principale en milieu rural pourrait donc être considérée dangereuse si son taux d'accidents est deux fois plus élevé que le taux moyen de ce type de route.

L'indicateur de type d'accident permet de détecter un type d'accident anormalement élevé en fonction d'un indicateur de référence. Une courbe horizontale, par exemple, pourrait être considérée anormalement dangereuse si sa fréquence d'accidents sur chaussée mouillée est deux à trois fois plus élevée que la fréquence moyenne de ce type d'accident sur l'ensemble du réseau (**types d'accidents**).

² Au chapitre 5, le taux d'accidents est calculé en multipliant la fréquence d'accidents par 10⁶ (au lieu du 10⁸). Ce taux suppose que tous les types d'accidents sont disponibles (incluant les accidents ayant causé des dommages matériels seulement) tandis que dans l'équation 3-2, ce sont uniquement les accidents ayant occasionné des traumatismes que l'on suppose disponibles. La valeur de l'exposant est choisie de façon à obtenir des valeurs de taux d'accidents facilement lisibles.

3.3.2 AUDITS DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE

Les actions préventives s'appuient sur les enseignements d'analyses de sécurité antérieures pour appliquer des mesures correctives aux endroits considérés dangereux parce qu'ils ont des caractéristiques similaires à celles des sites où se sont concentrés des accidents par le passé (une concentration anormale d'accidents n'est pas nécessairement requise à ces sites pour y justifier une action de sécurité). De telles actions sont nécessaires, bien qu'elles ne soient en général pas aussi rentables que celles effectuées aux points noirs. Elles répondent en effet à un impératif social et sont, dans bien des pays, exigées par la loi.

Certains peuvent mettre en doute la rentabilité de ces opérations de prévention sur les routes existantes, car les budgets sont rarement suffisants pour traiter tous les sites où il se produit beaucoup d'accidents. Toutefois, des progrès récents dans le domaine des audits de sécurité routière permettent de mieux justifier ces opérations de prévention.

L'audit de sécurité est une procédure systématique d'examen d'un projet de route (à diverses étapes de son développement) ou d'une route existante, effectuée par une autorité technique compétente (auditeur seul ou équipe) et indépendante du concepteur ou des administrateurs, qui vise à identifier les défauts qui pourraient entraîner des accidents ou accroître leur gravité.

On effectue des audits de sécurité dans de nombreux pays, tant en milieu urbain qu'en milieu rural et à toutes les étapes des projets :

- étude de faisabilité : choix du type de route, d'intersection, etc.;
- conception préliminaire : choix du tracé, détails de l'étude préliminaire;
- conception détaillée;
- pré-ouverture à la circulation;
- post-ouverture à la circulation;
- routes existantes.

Les concepteurs routiers recherchent normalement la plus grande sécurité possible. Pourtant, l'expérience démontre que des problèmes de sécurité peuvent survenir peu de temps après l'ouverture d'une nouvelle route. On invoque souvent l'absence ou l'insuffisance des normes pour expliquer cet état de fait, ou encore la difficulté d'accès aux plus récentes études sur les accidents de la route ou même la difficulté d'une mise à niveau rapide des normes. Les audits constituent ainsi un complément utile aux normes existantes.

L'audit doit suivre une procédure formelle dans laquelle le rôle de chaque partie en cause est clairement défini. Le client, qui en défraie le coût, doit préciser par écrit l'étendue de l'audit.

L'auditeur (ou l'équipe d'audit) présente un rapport qui varie suivant le pays. Ce rapport :

- peut prendre la forme d'une liste de vérification normalisée ou être adapté aux besoins d'un projet précis;
- peut simplement répondre à des questions spécifiques ou inclure aussi des recommandations ou des suggestions de solutions.

Un rapport produit par les experts en sécurité routière de l'AIPCR, identifie un certain nombre de points qui devront être éclaircis au cours des prochaines années (Herrsted, 1999) :

- concept d'indépendance des auditeurs;
- procédure de qualification des auditeurs;
- évaluation des audits : comparaison avantages / coûts;
- réglementation des audits et obligations légales;
- possibilité d'adoption d'une liste de vérification universelle;
- établissement d'une base de données d'audits pour améliorer la connaissance des problèmes;
- établissement de procédures d'audits pour les pays émergents.

3.4 CONCLUSION

Dans le système élémentaire humain-véhicule-environnement, les facteurs humains sont présents dans presque tous les accidents tandis que les facteurs touchant l'environnement routier comptent pour le tiers environ des accidents. Il ne s'agit pas d'en conclure un peu hâtivement que deux fois sur trois, les routes sont sécuritaires. La vérité, c'est que les erreurs humaines ou les comportements dangereux sont souvent causés par les caractéristiques de « l'environnement routier ». Par exemple, un accident dû à un excès de vitesse sera généralement attribué à un comportement fautif (la griserie de la vitesse) mais il pourrait aussi, dans bien des cas, être attribuable à des caractéristiques de la route qui encouragent de telles vitesses.

De façon générale, on peut d'attendre à une réduction du nombre d'accidents de l'ordre de 20 % lorsqu'on améliore une route. En comparaison, les mesures visant à modifier les comportements peuvent améliorer la sécurité de 30 % à 40 %. Néanmoins, l'un des avantages importants des mesures ayant trait à l'infrastructure est que les gains sont durables.

Pour être en mesure de proposer des traitements efficaces aux problèmes de sécurité rencontrés, il faut bien connaître les causes des accidents et surtout, bien comprendre la nature des dangers et des risques de la route. L'expertise et l'expérience, sont les éléments-clés de l'ingénierie de la sécurité routière car elles seules permettent de comprendre les détails qui sont souvent à la base des gains réalisés dans ce domaine.

On peut distinguer deux niveaux d'amélioration de l'infrastructure routière, avec des impacts budgétaires très différents :

- **les améliorations visant à moderniser le réseau** : elles concernent la construction de nouveaux ouvrages d'infrastructure de conception plus sécuritaire (application des normes récentes, réalisation d'audits de sécurité, etc.), ce qui exige des investissements considérables;
- **les améliorations du réseau existant suggérées par des études de sécurité** et effectuées aux sites dangereux. Les mesures de correction sont alors localisées - amélioration d'une intersection, correction d'une courbe, élimination d'un obstacle en bordure de la route - et les investissements demandés sont moins importants. Mais pour être vraiment efficaces, ces mesures doivent parfois être accompagnées d'opérations semblables ailleurs sur le tronçon, de façon à éviter une possible *migration des accidents*. Ce type d'intervention est très efficace (*chapitre 7*).

En résumé, les administrations routières devraient adopter un programme d'action logique et continu comme celui décrit au tableau 3.6.

Tableau 3-6 Processus d'amélioration de la sécurité

	TÂCHES	MESURES PERTINENTES FACTEURS NÉCESSAIRES À UNE ACTION EFFICACE
CONNAISSANCES DES FACTEURS ÉLÉMENTAIRES	- Collecte et gestion des données (accidents, trafic, caractéristiques de la route)	- accidents : localisation, circonstances, profil des victimes - volumes de trafic par catégorie d'usagers, par période et par motif de déplacement - caractéristiques de la route
	- Observations du comportement des usagers de la route	- mesures de vitesse - statistiques policières relatives aux infractions - surveillance vidéo
	- Évaluation des usagers et des caractéristiques de la route	- mesure de l'uni et de l'adhérence de surface - sondages auprès des usagers et des riverains - planification urbaine
DIAGNOSTICS DE SÉCURITÉ	- Analyse quantitative	- statistiques : indices et taux d'accidents - comparaison avec valeurs de référence - détection des points noirs
	- Analyse qualitative	- analyse détaillée des accidents - analyse séquentielle des accidents - audits de sécurité
ÉTUDES D'AMÉLIORATION	- Planification	- typologie du réseau - élaboration d'un système de classification routière - coordination de la planification du transport et de l'occupation des sols
	- Amélioration spécifique de prévention ou de correction	- modification des éléments sur lesquels l'administration routière peut agir : - caractéristiques géométriques - équipement de sécurité - gestion de la circulation : - signalisation, information
ÉVALUATION	- Évaluation avant intervention	- évaluation de la situation actuelle et établissement d'objectifs de sécurité pour les projets à venir (risque acceptable, risque ciblé)
	- Évaluation après intervention	- suivi après ouverture - à l'ouverture : détecter les lacunes - au moins un an après l'ouverture : vérifier si les objectifs prévus ont été atteints, interpréter les divergences par rapport aux objectifs

Chacun de ces éléments fait l'objet d'une description détaillée dans la seconde partie du manuel.

RÉFÉRENCES

- Asian Development Bank (1997)** *Road safety guidelines for Asia & Pacific region*, Manilla.
- Artaud, A. et Julien, R. (1999)** *Travailler ensemble pour mieux lire la route*, La Documentation Française, Paris.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (1977)** *Guide for selecting, locating and designing traffic barriers*, Washington, DC. Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.
- Brenac (1997)** *L'analyse séquentielle de l'accident de la route (méthode INRETS) : comment la mettre en pratique dans les diagnostics de sécurité routière*, Rapport INRETS, Outils et méthodes No 3, 79 p., France.
- Cellier, J.M. (1990)** *L'erreur humaine dans le travail*, dans *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, J. Leplat & G. de Terssac (eds), Marseille.
- De Keyser, V. (1989)** *L'erreur humaine*, *La Recherche*, n° 216, pp. 1444-1455, décembre 1989.
- European Transport Safety Council (1997)** *Road safety audit and safety impact assessment*, Brussels, 30 p. (<http://www.etsc.be/roadaudit.pdf>).
- Hauer, E. (1997)** *Observational before-after studies in road safety*, Pergamon, Elsevier Science. 268 p.
- Herms, B.F. (1972)** (in Hauer, 1997) *Pedestrian crosswalk study : Accidents in painted and unpainted crosswalks*, Highway Research Record 406, Washington, DC.
- Herrsted, L. (1999)** *Committee 13 Report to the XXI World Congress in Kuala Lumpur*, PIARC.
- Lay, M.G. (1986)** (dans Ogden 1996) *Handbook of road technology*, Gordon and Breach, London.
- Leplat, J. (1985)** *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*, Armand Colin, Paris. 198 p.
- Lunefeld, H. et Alexander, G.J. (1990)** *A User's guide to positive guidance (3rd Edition)*, FHWA -SA-90-017, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Neboit, M. (1996)** *Erreur humaine et prévention : le point de vue de l'ergonome*, dans *L'erreur humaine : question de point de vue?*, B. Cambon de Lavalette et M. Neboit (eds), Toulouse.
- Newell, A. et Simon, H.A. (1972)** *Human Problem Solving*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 25 p.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (1984)** *Integrated Road Safety Programs*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Ogden, K.W. (1996)** *Safer Roads : A guide to road engineering*, Avebury Technical, 516 p.
- Rasmussen, J. (1990)** *The role of error in organizing behaviour*, *Ergonomics*, V33 N10-11, pp. 1185-1190.
- Reason, J. (1993)** *L'erreur humain*, Presses Universitaires de France, Paris. 366 p.
- Safestar Road safety audit-review report (1998)** *Partie du programme de recherche européen*.
- Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (1994)** *Recommandations techniques pour la conception générale et la géométrie de la route : aménagement des routes principales, guide technique*, France.
- Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (1998)** *Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans. Guide technique*, France. 133 p.
- Treat, J.R., Tumbas, N.S., McDonald, S.T., Shinar, D., Hume, R.D., Mayer, R.E., Stansifer, R.L. et Castellan, N.J. (1979)** *Tri-level study of the causes of traffic accidents: Final report - Executive summary*. Bloomington, dans : Institute for Research in Public Safety. [Report No. DOT-HS-034-3-535-79-TAC(S)].
- Van Elslande P., Alberton L., Nachtergaële C. et Blancher G. (1997)** *Scénarios types de production de l'« erreur humaine » dans l'accident de la route*, Rapport INRETS N°218. 180 p.
- Van Elslande, P. et Malaterre, G. (1996)** *Chercher l'erreur dans l'accident*, dans *L'erreur humaine : question de points de vue?*, B. Cambon de Lavalette et M. Neboit (eds), Toulouse.

PARTIE 2

Processus d'analyse

CHAPITRE 4

Données

Peter Vasi

CHAPITRE 4

Données

	Page
INTRODUCTION	70
4.1 DONNÉES SUR LES ACCIDENTS	70
→ 4.1.1 Utilisateurs des données	71
→ 4.1.2 Rapport d'accident	72
→ 4.1.3 Information critique et souhaitable	75
→ 4.1.4 Méthodes de localisation des accidents	77
→ 4.1.5 Stockage des données d'accidents	81
→ 4.1.6 Limites des données d'accidents	82
4.2 AUTRES DONNÉES	86
→ 4.2.1 Fichier de données sur l'infrastructure routière	86
→ 4.2.2 Inventaire photographique et vidéo	86
→ 4.2.3 Fichier des données sur la circulation	87
→ 4.2.4 Fichier de l'hôpital	87
→ 4.2.5 Autres fichiers potentiels de données	87
4.3 SYSTÈME INTÉGRÉ DE DONNÉES	88
→ 4.3.1 Liaison de fichiers	89
4.4 AUTRES OUTILS DE COLLECTE DE DONNÉES	91
→ 4.4.1 Équipements d'enregistrement lors d'accidents	91
→ 4.4.2 Systèmes experts	92
4.5 CONCLUSION	93
RÉFÉRENCES	94
ANNEXE 4-1 EXEMPLE - RAPPORT D'ACCIDENT	95

LISTE DES FIGURES		
Figure 4-1	Système d'inventaire routier	78
Figure 4-2	Noeuds et liens à un échangeur	79
Figure 4-3	GPS (Système de Positionnement Global)	80
Figure 4-4	GPS différentiel	80
Figure 4-5	Nombre d'accidents rapportés et seuil de rapport (DMS)	83
Figure 4-6	Comparaison de fichiers d'accidents (police et hôpital)	84
Figure 4-7	Rapport d'accident – La juste mesure	85
Figure 4-8	Exemple – Données sur vidéo	86
Figure 4-9	Liaison de fichiers	90
Figure 4-10	Exemple – Application SIG	91
Figure 4-11	Exemple d'enregistreur automatique de données	92

LISTE DES TABLEAUX		
Tableau 4-1	Données sur les accidents – Information souhaitable	76
Tableau 4-2	Données sur l'infrastructure routière - Information souhaitable	86
Tableau 4-3	Données sur la circulation – Information souhaitable	87
Tableau 4-4	Données de l'hôpital – Information souhaitable	87

INTRODUCTION

Les accidents de la route sont des événements rares aux répercussions extrêmes. Ils représentent statistiquement une faible proportion des interactions entre les conducteurs et l'environnement routier ou entre les conducteurs eux-mêmes. Mais même si les accidents sont rares, tous les renseignements pouvant être obtenus à partir de l'analyse de ces événements sont précieux pour les ingénieurs en sécurité routière qui recherchent les causes possibles des accidents. Les données sur les accidents constituent donc un élément critique lors de l'établissement de diagnostics de sécurité. Ce chapitre décrit les principes informations requises et les diverses façons de les recueillir (*section 4.1*).

Outre les données d'accidents, d'autres données sont aussi nécessaires aux ingénieurs en sécurité routière (données sur l'infrastructure et la circulation principalement). Le contenu de ces différentes bases de données et la nécessité d'effectuer des liaisons entre chacune de ces bases sont décrits dans les *sections 4.2* et *4.3*.

Ce chapitre traite également de certaines technologies perfectionnées de collecte des données (*section 4.4*).

4.1 DONNÉES SUR LES ACCIDENTS

Un réseau routier doit être en mesure de satisfaire les besoins de mobilité des personnes et des marchandises, tout en répondant à un ensemble d'exigences fixées par la collectivité : minimiser le risque d'accident et les impacts environnementaux sur les milieux naturels et bâtis, respecter les contraintes budgétaires, favoriser le développement économique, etc.

La surveillance permanente de la performance de sécurité d'un réseau routier est nécessaire, si l'on veut qu'il satisfasse aux exigences de la société. Même s'il existe plusieurs méthodes de détection des problèmes de sécurité, dont notamment les études de *conflits routiers* et les *analyses de la tâche de conduite*, l'occurrence d'accidents demeure l'indicateur de premier choix pour identifier les situations problématiques

Il faut identifier les sites du réseau qui nécessitent des actions immédiates de même que les types d'accidents problématiques. Une surveillance systématique et périodique du réseau permet aussi de détecter la formation de « points noirs » et de prévoir le lieu et le moment des futurs problèmes de sécurité. L'accès à de telles informations facilite grandement la planification budgétaire et doit avoir des répercussions importantes sur certains aspects stratégiques, tels *l'objectif principal de réduction d'accidents* et le développement du *plan d'action en sécurité routière*. Un programme de sécurité routière efficace doit être fondé sur l'analyse de ces données qui permet de fixer des objectifs réalistes de réduction d'accidents. Certains affinements seront effectués au niveau municipal, où les politiciens et les organismes civiques peuvent poursuivre leurs propres objectifs (en se concentrant, par exemple, sur la sécurité d'un quartier en particulier ou des usagers d'une tranche d'âge donnée dans leur collectivité).

Pour être en mesure d'effectuer des analyses de sécurité, il faut avoir accès, en plus des données sur les accidents eux-mêmes, aux éléments d'information suivants :

- l'environnement routier;
- la circulation;
- les personnes impliquées;
- les véhicules en cause;
- le résultat et la durée du traitement à l'hôpital;
- les facteurs contributifs.

Toutes ces informations peuvent être extraites :

- du fichier de données d'accidents, où sont consignés les détails de chaque accident;
- du fichier de données sur l'infrastructure routière, où sont précisées les caractéristiques routières du lieu de l'accident;
- du fichier de données sur la circulation, où sont répertoriées les données sur les débits de circulation (volumes, manoeuvres, catégories de véhicules);
- du fichier d'hôpital, où sont décrites les blessures et les répercussions des accidents (avec une plus grande précision que dans le rapport d'accident complété par le policier);
- du fichier d'immatriculation des véhicules, où l'on conserve le dossier de tout véhicule avec son numéro d'enregistrement;
- du fichier des conducteurs, où est fichée toute personne qui détient un permis de conduire.

4.1.1 UTILISATEURS DES DONNÉES

L'information sur les accidents de la route est très précieuse :

- pour les ingénieurs de la route : qui disposent ainsi des outils techniques nécessaires à la détection et à la correction de situations dangereuses sur les routes existantes et à la prévention de problèmes similaires sur les futures routes;
- pour les forces policières : qui peuvent ainsi planifier leurs actions aux endroits dangereux aux moments où les problèmes sont les plus susceptibles de survenir;
- pour les chercheurs : qui utilisent les données pour effectuer des études préventives à partir desquelles ils peuvent formuler des recommandations visant à améliorer la sécurité des sites semblables ailleurs sur le réseau, ou instaurer des mesures restrictives destinées à une catégorie particulière d'usagers de la route (le permis de conduire progressif pour les jeunes, par exemple);
- pour les stratèges : qui fixent les objectifs de réduction d'accidents et développent les **plans d'actions en sécurité routière** au niveau national, régional ou municipal en se basant sur les résultats d'analyses de sécurité;
- pour les procureurs : qui peuvent utiliser les données sur les circonstances des accidents, les déclarations des témoins oculaires, les rapports d'accidents et les preuves fournies par les parties en cause;
- pour les compagnies d'assurance : qui fixent leurs taux et leurs primes en fonction des dossiers de conduite, des types de véhicules, des équipements de sécurité utilisés et des risques liés aux divers réseaux routiers;
- pour les constructeurs automobiles : qui peuvent utiliser ces données pour développer des véhicules plus sécuritaires.

D'autres groupes d'utilisateurs peuvent aussi utiliser, plus ou moins fréquemment, les informations des bases de données d'accidents : politiciens, décideurs, organismes civiques, conseils scolaires ou journalistes. Ils peuvent ainsi sensibiliser le public au risque d'accident et à la nécessité d'intervention.

Vu la grande diversité de groupes d'utilisateurs, il s'avère essentiel que le gouvernement soit responsable de la collecte et de la réglementation des données. Cet engagement nécessite des efforts soutenus et des sommes importantes, alors que ce sont souvent divers autres groupes d'utilisateurs qui se prévalent des avantages d'un système d'information exhaustif. Il s'agit là d'une contradiction à laquelle il est difficile d'échapper. Malgré ce fait, il est essentiel que les gouvernements reconnaissent l'importance du recueil de ces données et consacrent tous les efforts nécessaires à l'établissement d'un bon système d'information sur les accidents.

4.1.2 RAPPORT D'ACCIDENT

Les policiers sont les mieux placés pour recueillir les données d'accidents puisqu'ils sont les premiers à intervenir sur les lieux d'un tel événement. Comme le travail d'un grand nombre d'organismes dépend de l'efficacité de leur collecte de données, il est essentiel que les policiers reconnaissent et assument leurs responsabilités en la matière.

La collecte de données commence par la rédaction du rapport d'accident. Il s'agit d'un formulaire normalisé et pré-imprimé, sur lequel l'information requise est inscrite sous forme narrative ou sous forme de liste de vérification (p. ex. *annexe 4-1*). En outre, différents documents afférents à l'accident, comme les déclarations des témoins oculaires, les photos et les croquis des lieux sont annexés au rapport d'accident. Un formulaire convivial et bien conçu est un préalable à un système cohérent de collecte de données. Il est préférable que le formulaire du rapport d'accident soit le seul document de données exigé et qu'il soit le seul utilisé dans l'ensemble d'un pays pour éviter les duplications et les possibilités d'erreurs.

Presque tous les policiers-patrouilleurs sont appelés à rédiger un rapport d'accident au moins à l'occasion et leur habileté à le faire dépend de leur formation et de leur expérience. La plupart du temps, cette formation est donnée à l'école de police. Une formation uniforme est essentielle à la cohérence de la collecte de données. Il est important que les policiers qui rédigent les rapports d'accidents comprennent et appliquent les règles de rédaction propres à ce genre de document.

Les policiers ont tendance à croire que la collecte de données d'accidents sert surtout aux besoins des assureurs. Ceux qui comprennent mal les avantages d'une bonne collecte de données d'accidents remettent souvent des rapports de qualité médiocre. Des sessions de formation où un représentant de l'administration routière renseigne les policiers sur l'importance des divers éléments de données et leur utilité constituent un bon exemple d'harmonisation des efforts.

Il importe également que les divers intervenants utilisant les données d'accidents communiquent entre eux en s'efforçant :

- de publier des bulletins présentant des articles sur des sujets d'intérêt commun;
- de tenir des rencontres informelles et des forums de communication;
- de fournir gratuitement une rétroaction aux prestataires d'informations;
- d'organiser un système de récompense qui reconnaisse la qualité des rapports complétés ou des données saisies (il peut s'agir d'un simple stylo de bonne qualité, marqué du logo de la ville ou de l'organisation responsable, que le policier pourra ensuite utiliser pour compléter les rapports d'accidents).

Toutes ces mesures peuvent renforcer les relations de travail entre les autorités routières et la police.

Une fois le rapport d'accident complété, il faut en vérifier la cohérence avant de le microfilmer ou de le saisir à l'ordinateur. Cette vérification peut s'effectuer par ordinateur au moment de la saisie, avec des algorithmes bien structurés qui font ressortir ou même corrigent automatiquement certaines erreurs - la chaussée ne peut pas être glacée en été, une collision frontale implique

nécessairement plus d'un véhicule, etc. S'il manque une donnée ou s'il y a une contradiction entre certains éléments que l'ordinateur ou la personne qui vérifie ne peut résoudre, il faut retourner le rapport d'accident au policier pour correction. Cela peut entraîner un certain retard dans l'inclusion des données dans les statistiques, mais tout effort permettant d'accroître la fiabilité des bases de données est récompensé quand, à la suite d'une analyse exacte, on peut résoudre un problème avec succès.

Rapidité et exactitude

L'informatisation du rapport d'accident permet des gains de temps et d'efforts.

Un lecteur de formulaire peut balayer et extraire les données d'un formulaire standardisé. Plusieurs informations peuvent être présentées sous forme de cases à choix multiples où le policier n'a qu'à cocher la case pertinente. Quand le formulaire est balayé, les données peuvent être extraites et saisies automatiquement dans un enregistrement de base de données. Plusieurs logiciels permettent la reconnaissance optique des caractères, bien que ces applications ne sont généralement fiables que si le texte est parfaitement lisible. Il faut donc parfois taper des données à la main pour saisir l'information sur le lieu, les données confidentielles sur le conducteur et les passagers, etc.

Le formulaire est conçu pour être alimenté dans un lecteur de formulaires capable d'en extraire les données codées antérieurement.

L'ordinateur portable peut améliorer encore la lisibilité des rapports d'accidents et réduire les erreurs de saisie et la charge de travail du personnel affecté au traitement des rapports. Par contre, il peut augmenter celle du policier sur les lieux de l'accident, où le temps précieux est mieux utilisé à assurer la sécurité, minimiser les retards dans la circulation et les fermetures de route consécutives à l'enquête sur place. Il faut en conséquence s'assurer d'utiliser de façon judicieuse les capacités d'interface des ordinateurs portables, ce qui peut conduire à une réduction du temps de saisie par rapport au formulaire papier (**avantages** et **inconvénients**).



Rapport d'accident informatisé

Source : Sûreté du Québec

L'ordinateur à stylet (ou ardoise électronique) permet de saisir les données à l'ancienne, c.-à-d. à l'aide d'un stylet, mais son lecteur optique de caractères ou de formes convertit les marques inscrites sur l'écran électronique en caractères reconnaissables, créant ainsi et en même temps une base de données électronique. Des logiciels personnalisés peuvent ainsi être développés pour effectuer les tâches de saisie de données d'accidents.

L'ordinateur de poche est idéal pour les tâches simples de collecte de données alors saisies à l'aide d'un stylo électronique ou d'un petit clavier. Ce type d'appareil peut être très pratique pour une utilisation sur la route car il peut être placé sur le tableau de bord du véhicule de patrouille où il occupe peu de place.

Le système à bande magnétique fait appel au champ magnétique produit par une tête d'enregistrement pour enregistrer les inversions du flux magnétique. Toute l'information est placée sur un support magnétique (bande magnétique) semblable à celui utilisé pour les bandes audio et vidéo. Le décodeur lit les inversions de flux et les traduit en lettres et en chiffres. Une bande magnétique peut contenir une quantité considérable de données. (p. ex. le numéro d'immatriculation, le numéro d'identification du véhicule et des renseignements additionnels peuvent être stockés sur la piste d'environ 120 octets).

Le code à barres consiste en une série de barres noires et blanches à épaisseur et à motifs variables qui représentent des lettres ou des chiffres. Le balayage du code avec un lecteur de code à barres permet d'extraire une grande quantité de données. On peut de cette façon éviter les nombreuses possibilités d'erreurs associées à la transcription du numéro d'identification du véhicule et des noms du conducteur et des passagers. Les véhicules ont des étiquettes en code à barres qui peuvent éviter au policier d'avoir à noter ou à taper plusieurs informations requises. Le policier doit bien sûr disposer d'un lecteur de code à barres. Des étiquettes de code à barres peuvent aussi figurer sur les certificats d'immatriculation et sur les permis de conduire, avec d'autres renseignements comme le type de véhicule, sa taille, les coussins de sécurité gonflables, le système de freinage antiblocage, etc. Même la photo sur le permis peut être enregistrée dans le code à barres.



Permis de conduire avec code à barres

Source : Société d'assurance automobile du Québec.

Le modem radiofréquence peut servir à transmettre des données numériques entre l'ordinateur portable et l'ordinateur central. Un policier peut extraire les données relatives à un véhicule ou à son propriétaire en quelques secondes : il suffit de saisir les données de la plaque d'immatriculation dans l'ordinateur portable ou le terminal de l'auto-patrouille. Les formulaires de rapports électroniques peuvent être acheminés au centre de données par modem.

La carte à puce « intelligente » est une carte électronique, semblable à une carte de crédit, qui stocke et transmet l'information. Ce type de carte peut servir à stocker toutes les données relatives à l'état d'un véhicule ainsi que des données opérationnelles.

L'appareil photo numérique permet de prendre des photos numériques d'excellente qualité qui peuvent être facilement transférées dans un ordinateur et jointes à une base de données ou à un formulaire de rapport électronique. Il s'agit donc d'un outil fort utile pour le policier chargé d'une enquête.

Avantages de l'ordinateur portable dans la collecte de données :

- les erreurs résultant d'informations manuscrites illisibles sont éliminées;
- la qualité des données est accrue (par l'utilisation de logiciels de validation lors de la saisie des données);
- la création du rapport d'accident à l'ordinateur peut être beaucoup plus rapide à la condition de faire bon usage des capacités d'interface des ordinateurs portables qui peuvent échanger des données - réception et envoi - avec d'autres appareils de collecte de données comme les lecteurs de codes à barres, les lecteurs de bandes magnétiques, les appareils photos numériques, les récepteurs GPS, etc. L'entrée des données est alors beaucoup plus facile ce qui est particulièrement avantageux dans le cas de collisions avec plusieurs véhicules;
- l'ordinateur portable peut servir à d'autres tâches des policiers;
- l'ordinateur à stylet permet d'effectuer un croquis d'accident directement à l'ordinateur;
- l'ordinateur à stylet exige moins de formation que les ordinateurs ordinaires puisqu'il se rapproche davantage du formulaire manuscrit.

Inconvénients de l'informatisation de la collecte des données :

- réticence de certains policiers à utiliser un ordinateur s'ils ne l'ont jamais fait auparavant. Certains peuvent aussi avoir de la difficulté à compléter les parties narratives du rapport;
- l'ordinateur portable est encombrant à utiliser à l'extérieur du véhicule et il est fragile;
- il est possible que les procureurs - qui exigent souvent des rapports manuscrits et des signatures - refusent les rapports imprimés par ordinateur.

4.1.3 INFORMATION CRITIQUE ET SOUHAITABLE

Il faut beaucoup d'informations pour satisfaire les besoins de tous les groupes d'utilisateurs. Aussi est-il souhaitable de consulter tous les utilisateurs potentiels avant de définir l'étendue des données à recueillir. Le système de collecte de données n'a aucun sens si les données ne sont d'aucune utilité à ceux à qui elles sont destinées. Les combinaisons potentielles de données sont innombrables mais il est possible de définir un contenu que l'on peut considérer comme étant essentiel à la compréhension des événements entourant un accident. Cet ensemble critique de données doit, à tout le moins, répondre aux questions suivantes :

- Où l'accident s'est-il produit?
localisation par coordonnées géographiques, nom de routes/rues, distance entre le lieu de l'accident et un point connu;
- Quand l'accident s'est-il produit?
année, mois, quantième, jour de la semaine, heure;
- Qui est en cause?
personnes, véhicules, animaux, objets aux abords de la route;
- Quelles sont les conséquences de l'accident?
nombre de victimes de chaque catégorie (décès, blessé grave, blessé léger);
- Quelles étaient les conditions de l'environnement routier?
conditions climatiques, éclairage, état de la chaussée;
- Pourquoi (ou comment) la collision s'est-elle produite?
direction des usagers de la route, type de collision, erreurs/causes de l'erreur.

Outre cet ensemble de données, le formulaire de rapport d'accident contient plusieurs autres types d'informations. La collecte d'un ensemble restreint de données est plus économique mais le résultat peut se révéler insuffisant pour les besoins de la recherche. Par contre, un système complet et bien organisé peut satisfaire les besoins de plusieurs utilisateurs mais sa mise à jour est coûteuse. Ces coûts peuvent cependant être partagés par les utilisateurs : on pourrait par exemple demander une contribution aux compagnies d'assurance et aux manufacturiers automobiles qui utilisent les données d'accidents pour leurs activités commerciales.

On trouvera au tableau 4-1, le contenu potentiel d'un fichier de données d'accidents.

En plus de déterminer précisément le niveau de détail des informations à recueillir, il faut aussi s'entendre sur une terminologie précise; les termes suivants doivent être clairement définis :

- accident de la route (est-ce un accident de la route quand un patineur à roulettes heurte un piéton sur le trottoir?);
- décès, blessure grave, blessure légère consécutive à un accident (combien de jours doivent s'écouler entre le moment de l'accident et le décès pour déclarer l'accident mortel? La plupart des pays utilisent une période de 30 jours pour un décès et la nécessité d'une hospitalisation pour distinguer les blessures graves et les blessures légères);
- véhicule, véhicule automobile (les patins à roues alignées et les planches à roulettes sont-ils des véhicules?);
- la différence entre une motocyclette et un cyclomoteur (dans de nombreux pays, seuls les véhicules ayant un moteur de plus de 50cc sont considérés comme des motocyclettes; les autres étant classifiés comme des cyclomoteurs).

Tableau 4-1 Données sur les accidents – Information souhaitable

<p>NUMÉRO D'IDENTIFICATION DE L'ACCIDENT</p> <ul style="list-style-type: none"> - Numéro unique qui empêche l'entrée en double des données (à combiner avec le numéro de référence du poste de police). 	<p>LIEU</p> <ul style="list-style-type: none"> - Localisation exacte du lieu de l'accident. Elle peut être décrite par : <ul style="list-style-type: none"> - un texte rédigé par le policier; - les coordonnées X, Y d'un système uniforme de coordonnées; - le numéro de la route et de la borne kilométrique (arrondi p. ex. à 100 m près); - la distance d'un nœud (intersection) ; - la distance d'un point connu. <p>Méthodes de localisation des accidents</p>
<p>DATE ET HEURE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Date exacte (quatre chiffres pour l'année, deux pour le mois et deux pour le quantième). - Bien que le jour de la semaine puisse s'obtenir à partir de la date, il peut être utile d'inclure un élément distinct pour stocker cette information (en particulier si la base de données n'est pas informatisée). 	<p>TYPE DE COLLISION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Par un ou plusieurs des moyens suivants : <ul style="list-style-type: none"> - description narrative; - image; - code.
<p>VÉHICULE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour chaque véhicule impliqué : <ul style="list-style-type: none"> - type; - marque; - année de fabrication; - numéro d'identification du véhicule (NIV). - Le NIV est un numéro de plusieurs caractères fixé à la carrosserie du véhicule ou inscrit sur le certificat d'immatriculation. Il donne accès à plusieurs informations relative au véhicule qui sont très utiles pour analyser les questions de sécurité : type de véhicule, modèle, année de fabrication, type de carrosserie, cylindrée du moteur, système de retenue, etc. 	<p>MANOEUVRES DES VÉHICULES ET CROQUIS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les codes de description de la manœuvre de chaque véhicule/ usager ou un croquis de l'accident. Pour être utile, ce type de croquis doit inclure les éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"> - manœuvres de chaque véhicule; - identification des véhicules (véh. 1, véh. 2, etc.); - points de référence; - mesures importantes; - échelle.
<p>SENS DE LA CIRCULATION</p> <ul style="list-style-type: none"> - La direction dans laquelle roulait chaque véhicule, p. ex. : <ul style="list-style-type: none"> - de A à B; - la direction du kilométrage croissant/décroissant. 	<p>CIRCONSTANCES CONTRIBUTRICES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quelles étaient les conditions environnementales telles : <ul style="list-style-type: none"> - température (pluie, vent, brouillard, etc.); - surface de roulement (glacée, mouillée, débris, etc.); - autres facteurs contributifs.
<p>VICTIMES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Selon la gravité des blessures de chacune des victimes, p. ex. : <ul style="list-style-type: none"> - mortelle; - blessure grave; - blessure légère. - La gravité des blessures, établie par les policiers, peut être subjective et ne pas correspondre à l'échelle de gravité utilisée par les hôpitaux. Les fichiers de l'hôpital donnent une cote plus exacte de la gravité d'une lésion. 	<p>CONDUCTEURS/PASSAGERS</p> <ul style="list-style-type: none"> - nom, sexe, âge; - position dans le véhicule; - numéro du permis de conduire; - expérience de conduite.
<p>ÉQUIPEMENT DE SÉCURITÉ</p> <ul style="list-style-type: none"> - ceinture de sécurité, casque, siège pour enfants; - coussins gonflables (déploiement ou non). 	<p>ALCOOL ET DROGUES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Résultats de tests d'alcoolémie : <ul style="list-style-type: none"> - au site d'accidents; - au poste de police ou à l'hôpital.
<p>VITESSE</p> <ul style="list-style-type: none"> - déclaration des conducteurs, des témoins; - longueurs des marques de freinage; - tachygraphes (véhicules lourds). 	<p>DOMMAGES MATÉRIELS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estimés
<p>NARRATIFS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les parties narratives sont des éléments clés d'un rapport d'accidents. Elles contiennent généralement des informations utiles, qui ne peuvent être codées. Il s'agit cependant de la partie qui est la plus longue à compléter et elle est souvent omise. Un espace suffisant doit être prévu sur le formulaire pour permettre la saisie de toute l'information utile. 	

Les questions suivantes ne doivent donner lieu à aucune ambiguïté :

- Quels accidents dans quels lieux faut-il rapporter?
Faut-il rapporter tous les accidents sur les routes publiques ou seulement ceux qui entraînent des traumatismes corporels (décès ou blessures)? La collecte de données doit-elle inclure les accidents « avec dommages matériels seulement » ou seulement ceux où le dommage est supérieur à un montant donné, ou seulement ceux où un véhicule accidenté a dû être remorqué?
- Quelles sont les procédures à suivre pour la collecte des données et auprès de quelles sources faut-il la faire?
Les procureurs peuvent exiger que les rapports de l'hôpital soient manuscrits et incluent une description détaillée des blessures subies dans un accident ou ils peuvent insister pour recevoir les données sur l'état de la route et de ses abords tel que rapporté par les policiers plutôt qu'à partir du fichier d'inventaire routier.
- Quelles méthodes, et quels indices faut-il utiliser pour mesurer et décrire les caractéristiques de la route?
Par exemple, l'IRI (Indice de rugosité internationale) peut être utilisé pour mesurer le degré de planéité de la surface de roulement, l'IFI (Indice de frottement international) peut être utilisé pour mesurer les conditions d'adhérence de surface, etc.
- Quelle méthode faut-il utiliser pour évaluer la gravité des blessures?
De plus en plus de pays utilisent l'échelle de gravité lésionnelle dite *abbreviated injury scale* (AIS), qui attribue un nombre à chaque type de blessure et calcule ensuite la moyenne pour établir la cote de gravité générale, qui varie de 0 (aucune blessure) à 6 (blessure mortelle).

De telles définitions sont nécessaires pour assurer la cohérence de l'information dans le fichier d'accidents et pour permettre aux utilisateurs de ces données d'effectuer des comparaisons, puisqu'ils savent exactement à quoi correspond chaque élément de données. Cela rend aussi possibles les comparaisons sur le plan international. À cet égard, les efforts déployés pour le développement d'une Base de données internationale sur la circulation et les accidents de la route (BICAR) sont à mentionner. La BICAR offre en effet un cadre de référence permettant d'effectuer des comparaisons internationales de statistiques d'accidents¹ :

- accessibilité internationale aux informations récentes;
- données exhaustives et détaillées;
- comparabilité des données en provenance de différents pays;
- séries chronologiques uniformes;
- mise à jour et exploitation des données à l'aide d'un ordinateur.

4.1.4 MÉTHODES DE LOCALISATION DES ACCIDENTS

L'inexactitude de la localisation des lieux des accidents constitue l'un des problèmes majeurs lors de la réalisation d'études de sécurité visant à améliorer l'infrastructure routière. Une méthode précise de localisation des différents points d'un réseau routier constitue donc l'élément fondamental d'un système d'information routier.

1. En premier lieu, si la localisation des accidents est incertaine, l'administration routière ne peut pas vraiment identifier les points dangereux de son réseau. La localisation inexacte des accidents peut non seulement rendre impossible cette identification, ce qui conduit à un gaspillage des fonds disponibles, mais elle peut aussi rendre impossible l'évaluation de l'efficacité de toute contre-mesure.
2. En second lieu, parce que les données à référence spatiale constituent le lien entre les divers fichiers répertoriés - données sur les accidents, la circulation et l'infrastructure routière. Pour que la fusion de ces fichiers soit possible, il faut que les systèmes de référence spatiale utilisés dans les différents fichiers soient identiques ou à tout le moins compatibles afin de permettre la création d'un fichier de conversion des localisations entre fichiers (*section 4.3.1*).

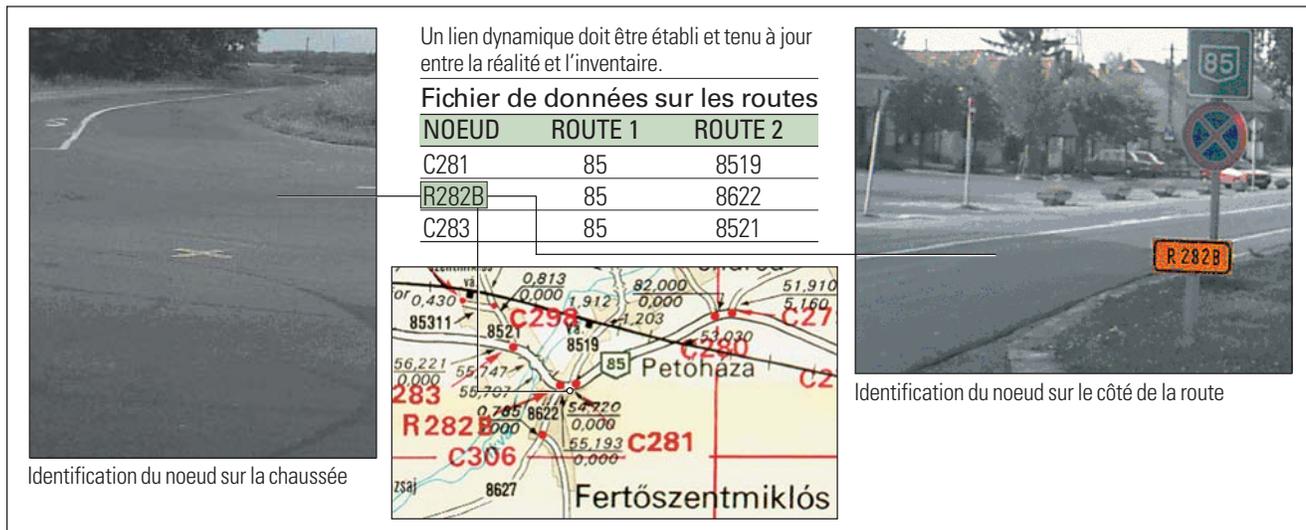
¹ Source : <http://www.bast.de/htdocs/fachthemen/irtad/francais/irtadlan.htm>

Un système de référence spatiale devrait permettre de :

- localiser avec précision une caractéristique de la route ou d'un site à l'aide des données de localisation contenues dans la base de données;
- stocker les données recueillies sur un site dans la base de données informatisée, tout en conservant son emplacement spatial.

C'est dire que le système de référence spatiale doit fournir une identification univoque dans les deux directions.

Figure 4-1 Système d'inventaire routier



Il existe trois principales méthodes de localisation :

- **noeud - lien;**
- **route - borne kilométrique;**
- **coordonnées X, Y (GPS).**

Toutes les autres méthodes de localisation sont de simples variantes de ces méthodes de base.

Noeud - lien

Des points connus le long de la route sont identifiés comme des nœuds et forment ainsi la base de cette méthode de localisation. Les nœuds les plus usuels sont les intersections, qui se voient attribuer un numéro unique. Chaque nœud est relié à au moins un autre nœud par une partie de route que l'on appelle un lien. Tout emplacement est facilement identifiable en utilisant la distance à partir d'un nœud et la direction de la mesure, telle que définie par deux nœuds adjacents. Le réseau le plus simple prend donc l'aspect d'une toile où chaque nœud représente une intersection de deux routes.

D'autres éléments peuvent aussi servir de nœuds. Il peut s'agir de ponts ou de ponceaux, de limites municipales, etc. Ces nœuds secondaires peuvent être très utiles lorsque les intersections sont trop distancées et qu'il devient difficile de mesurer la distance à l'aide du nœud le plus près.



Numérotation d'un viaduc

Route - borne kilométrique

La localisation par route-borne kilométrique est semblable à la méthode du nœud-lien en ce sens qu'elle fait aussi intervenir le concept de distance à partir d'un point connu pour identifier un emplacement précis sur la route. On attribue ici un numéro de route unique à chaque tronçon continu. Ce numéro peut coïncider avec le numéro affiché sur les panneaux de signalisation routière et indiqué sur les cartes officielles. Ce peut aussi être n'importe quel autre numéro utilisé uniquement pour les fins de localisation. Dans un tel cas, il faut alors développer des cartes et des listes permettant de faire le lien entre ces deux numéros. Un point d'origine (kilomètre zéro) est choisi sur chaque route et la distance mesurée à partir de ce point identifie un emplacement particulier. Les distances sont indiquées par des bornes kilométriques le long de la route.



Borne kilométrique

Un policier pourra difficilement préciser l'emplacement d'un accident en milieu rural si les bornes kilométriques sont trop éloignées ou si certaines bornes sont manquantes. Un bon système comprenant une densité raisonnable de bornes (aux 200 m le long des grandes artères, aux 500 m sur les routes secondaires, par exemple) peut contribuer à améliorer la qualité de la localisation des accidents.

Carte de points de référence

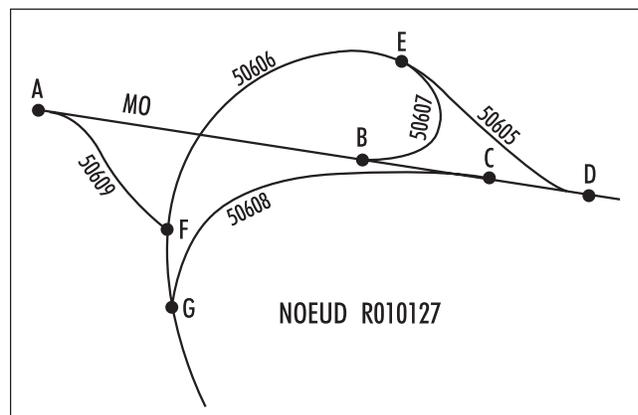
L'exactitude de la localisation dépend non seulement de la description faite par le policier mais aussi du degré de détail et de précision des cartes qui sont mises à sa disposition. Une carte détaillée est essentielle aux intersections de plusieurs routes et dans les échangeurs d'autoroutes. Un numéro de référence unique peut être affecté aux points de jonction à l'entrée et à la sortie de chaque bretelle.

En général, les préalables à une bonne localisation par noeuds-liens et bornes kilométriques sont :

- des points de repère facilement identifiables le long de la route;
- une carte détaillée qui reflète fidèlement le fichier du répertoire des routes (figure 4-2).

Lorsque des travaux routiers modifient la longueur d'une route, les bornes qui se trouvent sur ses abords n'indiquent plus le véritable point-kilomètre d'un emplacement, à moins qu'elles n'aient été changées pour tenir compte des nouvelles distances réelles. Des algorithmes de calcul doivent alors être utilisés pour corriger les valeurs inscrites sur les bornes kilométriques et obtenir des valeurs exactes.

Figure 4-2 Noeuds et liens à un échangeur



Les liens entre chaque paire de nœuds sont identifiés par un numéro unique. De telles cartes permettent aux policiers de localiser plus facilement les accidents à leur emplacement précis.

Coordonnées X, Y

Cette méthode utilise les coordonnées X et Y d'un emplacement donné, en se basant sur un système de coordonnées géographiques qui est de préférence disponible sur l'ensemble du territoire géographique d'un pays. Les avantages de cette méthode sont de plus en plus reconnus, avec la popularité grandissante des applications faisant usage des Systèmes d'information géographique (SIG).

Le système de positionnement global (GPS) est un moyen peu coûteux et rapide d'obtention des coordonnées X, Y d'un point donné.

Système de positionnement global GPS

Ce système permet d'obtenir facilement les coordonnées géographiques réelles de n'importe quel point. Il fait appel à plusieurs satellites en orbite autour de la Terre, gravitant à une altitude de 20 200 km (figure 4-3). Les satellites agissent comme des points de référence connus et émettent gratuitement, sur deux fréquences porteuses, des données sur l'identité du satellite, sa position et le temps de l'émission.

Un récepteur GPS reçoit sur le terrain ces signaux et calcule automatiquement les coordonnées géographiques correspondant à son emplacement en fonction du temps que met le signal à lui parvenir du satellite; l'emplacement du récepteur est ensuite établi par triangulation par rapport à la position des autres satellites. Ce résultat peut ensuite être converti en fonction du système national de coordonnées.

Il existe deux manières de mesurer et de calculer les coordonnées :

1. Par traitement différentiel par rapport à une station de base

Une lecture simultanée doit être obtenue au site d'accident et à une station de base. Un logiciel assure la corrélation des deux lectures. Cette méthode donne des résultats beaucoup plus précis mais elle est plus coûteuse et complexe. Selon le type d'appareil et la durée de lecture, les résultats peuvent être précis au centimètre près (figure 4-4);

2. Sans traitement différentiel

Le récepteur, qui peut avoir la taille d'une calculatrice de poche, est utilisé seul, sans recours à une station de base. Même avec un récepteur GPS peu coûteux et une lecture rapide, les résultats sont précis à 20 m près.

Une précision de 5 à 10 m près est jugée suffisante car elle permet d'éviter que les accidents ne s'affichent sur une carte d'un système d'information géographique (SIG) comme s'ils s'étaient produits hors de la route. Cette précision suffit aux besoins des analyses de sécurité qui nécessitent une identification non ambiguë des points noirs.

Figure 4-3 GPS (Système de Positionnement Global)

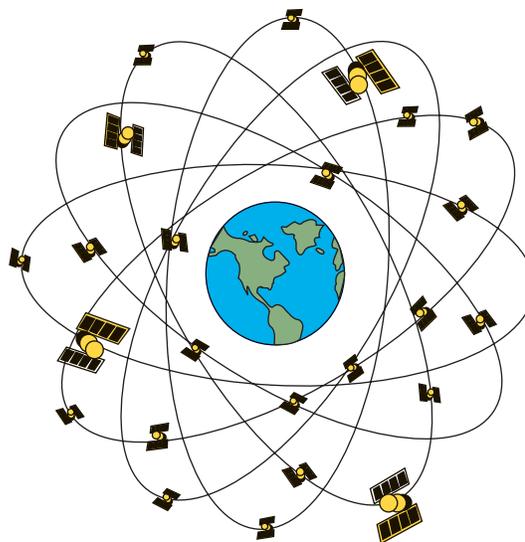
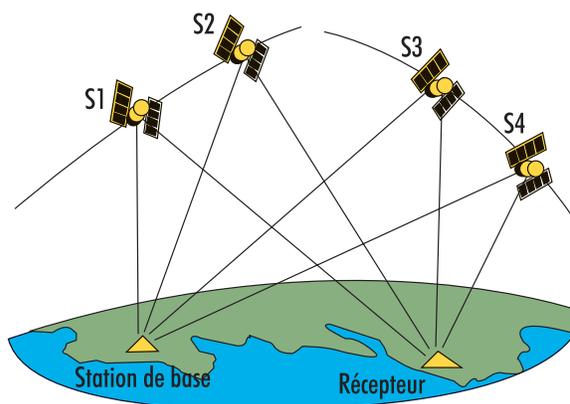


Figure 4-4 GPS différentiel



Avantages du système GPS :

- il donne des coordonnées X, Y, et même Z plus précises que toute autre méthode existante;
- les lectures et les calculs sont rapides, entièrement automatisés et exempts de toute erreur humaine;
- les coordonnées peuvent être converties au système de coordonnées national;
- l'appareil peut être relié ou intégré à un ordinateur; les coordonnées peuvent donc être transférées directement dans le formulaire du rapport d'accident, sans saisie manuelle;
- son utilisation est très simple et les besoins de formation sont minimes;
- une meilleure information peut être transmise aux véhicules d'urgence qui doivent se rendre sur les lieux d'un accident;
- le rapport avantages-coûts est intéressant.

Inconvénients du système GPS :

- il exige une « vue du ciel » et une ligne de visée dégagées pour recevoir les signaux des satellites (au moins quatre), ce qui peut être difficile - voire impossible - dans les zones urbaines densément construites, sous les arbres ou dans les canyons;
- comme très peu de systèmes de référence utilisent les coordonnées X,Y du GPS, il faut prévoir un algorithme de conversion de ces coordonnées au système de référence en vigueur dans un pays (et inversement);
- les récepteurs GPS de poche peuvent facilement s'endommager;
- la localisation GPS ne peut être utilisée si les policiers ne se rendent pas sur les lieux de l'accident. Dans certains pays, le rapport d'accident est rédigé au poste de police et non sur les lieux. Si les policiers oublient d'allumer leur appareil sur les lieux de l'accident, il leur faudra y retourner plus tard pour effectuer la lecture. S'ils n'en ont pas le temps ou n'en reconnaissent pas l'importance, ils peuvent très bien l'allumer de retour au poste (ou ailleurs) et fausser ainsi les coordonnées;
- l'inexactitude doit être évaluée non seulement en terme de latéralité mais aussi en terme radial. En zone urbaine tout particulièrement, cela peut vouloir dire que l'accident sera codé à une intersection adjacente ou dans une rue secondaire plutôt que dans une rue principale, par exemple.

4.1.5 STOCKAGE DES DONNÉES D'ACCIDENTS

Les ordinateurs modernes sont le meilleur moyen de stocker et de tenir à jour les données. Une base de données informatisée peut être décrite comme un tableau structuré où chaque colonne représente une variable ou élément de donnée et où chaque ligne contient toute l'information disponible sur un accident donné.

S'il est vrai que l'informatisation des données d'accidents exige une installation informatique, elle demande relativement peu de main-d'œuvre par rapport aux méthodes manuelles. Le stockage et la recherche informatisés des données sont essentiels pour les organismes ayant beaucoup de données de ce type à tenir à jour. Pour économiser l'espace du disque dur et faciliter le traitement des données, l'information des bases de données peut être codée de façon à ce qu'un numéro ou caractère unique soit attribué à chaque valeur possible d'une variable ou d'un élément. La gravité d'un accident par exemple peut être codé F (fatal), G (blessure grave) et L (blessure légère). Un numéro unique peut être affecté à chaque ville afin que les noms très longs n'utilisent qu'un espace restreint.

Lorsqu'une base de données est codée de cette façon, il devient cependant difficile de lire directement les données mais plusieurs progiciels permettent d'effectuer la conversion. Il suffit à l'utilisateur de saisir ou d'extraire les données sur les accidents sans s'occuper du codage, lequel est assuré par le progiciel; pour l'utilisateur, toute l'information d'origine s'affiche.

Le stockage informatisé des données sur les accidents facilite :

- le calcul rapide de taux, d'indices de gravité et d'autres éléments statistiques;
- la préparation de tableaux croisés;
- la préparation de sommaires d'accidents sous forme de graphiques conviviaux.

Les sites dangereux peuvent aussi être détectés automatiquement lorsque le nombre ou la gravité des accidents dépasse un seuil préétabli.

La capacité de stockage accrue des ordinateurs et le développement des numériseurs et des disques optiques constituent des percées importantes dans le domaine du stockage des données. Le numériseur optique permet d'obtenir une image informatisée de tous les rapports d'accidents. Ces images peuvent être stockées et mises à la disposition d'un groupe élargi d'utilisateurs, tels les chercheurs qui ne se satisfont pas toujours des bases de données codées et tiennent à voir les formulaires d'origine. Les parties narratives et les croquis d'accidents qui figurent sur ces formulaires peuvent en effet contenir des renseignements utiles qui ne sont pas inclus dans les bases de données informatisées.

4.1.6 LIMITES DES DONNÉES D'ACCIDENTS

Les utilisateurs des données d'accidents doivent garder à l'esprit les aspects suivants :

- tous les accidents ne sont pas à rapporter;
- tous les accidents à rapporter ne le sont pas;
- les données d'accidents rapportés peuvent contenir des erreurs.

Tous les accidents ne sont pas à rapporter

Le seuil de rapport des accidents varie d'un pays à l'autre. Quelques-uns des seuils les plus utilisés sont énumérés ci-dessous :

- **Accidents avec dommages corporels :**

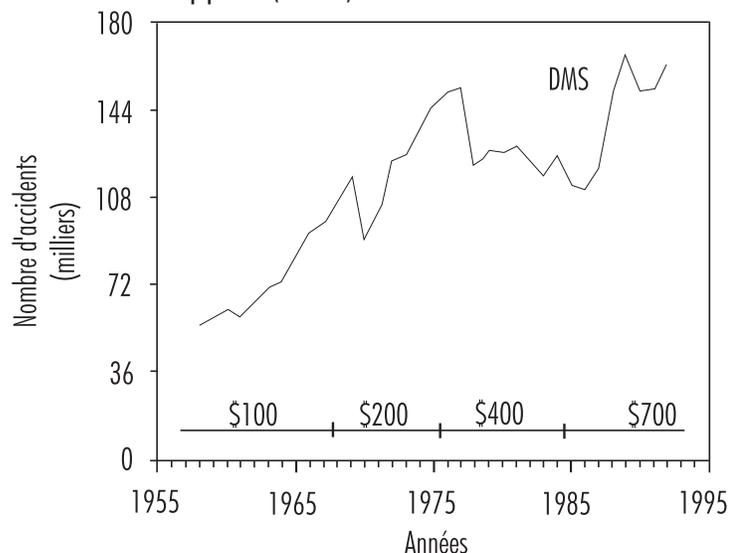
Les statistiques sur les accidents mortels dans deux pays ou juridictions peuvent ne pas être comparables si ceux-ci définissent de manière différente la gravité des blessures subies dans un accident, ce qui peut avoir un impact lors de *l'identification* des problématiques et de *l'évaluation* de l'effet des actions correctives. Tel que mentionné précédemment, la définition la plus commune établit comme mortel un accident dans lequel au moins une victime subit des blessures entraînant son décès dans les 30 jours qui suivent.

Il faut noter que l'amélioration des services médicaux observée au fil des ans a entraîné un certain biais en termes de continuité statistique de données. Les technologies médicales de pointe et l'amélioration continue des services d'urgence permettent en effet aux médecins de garder en vie pendant 30 jours plus de victimes que jamais auparavant. En conséquence, la proportion d'accidents mortels a diminué. Il ne faut cependant pas confondre : ce résultat quoique fort souhaitable n'est pas attribuable à des améliorations à la sécurité routière.

- **Accidents avec dommages matériels seulement :**

Dans certains pays, tout accident avec « dommages matériels seulement » doit être rapporté alors que dans d'autres, ce genre d'accident n'est jamais rapporté. Dans d'autres cas, le seuil de rapport des accidents est fonction d'un montant de dommages matériels supérieurs à une limite donnée. Ce seuil est ajusté de temps à autre pour tenir compte de l'inflation et refléter le coût plus élevé des réparations. Toutefois, lorsque le coût des réparations augmente sans que le seuil de rapport ne change, on observe un accroissement du nombre rapporté d'accidents avec « dommage matériels seulement » (DMS). Ceci peut fausser les statistiques d'accidents (figure 4-5).

Figure 4-5 Nombre d'accidents rapportés et seuil de rapport (DMS)



Source : Hauer, 1997

L'ajustement du seuil de rapport des accidents avec DMS est toujours risqué. Un pays ou une juridiction peut certainement effectuer certaines économies sur le plan de la collecte de données en augmentant le seuil minimal de DMS pour le rapport d'un accident. Cependant, le nombre d'accidents disponible diminue alors, ce qui rend plus difficile la recherche des causes des accidents et la détermination précise de solutions appropriées aux problèmes à résoudre.

Certaines études montrent que les accidents urbains et certains types de collisions comme les collisions arrière, les collisions latérales, les collisions dans les stationnements et les collisions avec un animal sont plus affectés par des modifications aux seuils de rapport des accidents que les collisions mettant en cause les piétons, les cyclistes ou les sorties de route. Si certains types d'accidents sont omis des bases de données, des situations hasardeuses pourront être impossibles à détecter.

- **Accidents avec le remorquage d'un véhicule des lieux de l'accident :**

L'accident avec remorquage est un accident où l'état d'au moins un des véhicules impliqués est tel qu'il ne peut pas, du moins sans danger, quitter les lieux de l'accident à moins d'être remorqué. Cette définition semble donner un seuil de rapport clair. Elle n'est toutefois pas exempte d'incertitudes car il n'est pas toujours facile de déterminer si l'accident répond à ce critère. Prenons l'exemple d'une collision arrière qui rend inutilisables les phares du véhicule. Si la collision se produit de nuit, il est évident qu'il est dangereux de conduire le véhicule. Mais si l'accident se produit de jour, le véhicule peut être conduit et le dommage échappera peut-être à l'attention.

- **Accidents où le véhicule impliqué a causé des blessures à une personne autre que le conducteur :**

Cette définition entraîne l'exclusion de tous les accidents où seul les conducteurs occupaient le véhicule, peu importe la gravité de l'accident.

- **Accidents survenus sur une voie publique :**

Cette définition signifie que certains types d'accidents qui ne se produisent généralement pas sur la route, mais plutôt dans les parcs, les trottoirs ou les terrains de stationnement, ne sont pas rapportés. Toutefois, ils seront fort probablement inclus dans les fichiers d'hôpitaux. Cela est particulièrement vrai pour les accidents avec une bicyclette.

Tous les accidents à rapporter ne le sont pas

Il faut être conscient que plusieurs accidents de la route qui devraient être rapportés ne le sont pas. Ce peut-être :

- à cause de l'ignorance de l'obligation légale d'effectuer un rapport d'accident;
- parce que la victime ne se rend pas compte qu'elle est blessée au moment de l'accident;
- à cause du désir d'éviter la bureaucratie;
- à cause du désir d'éviter les pénalités d'assurance (ou autres).

L'ampleur de ce problème peut varier selon :

- les groupes d'usagers de la route (les accidents impliquant des cyclistes et des piétons sont en général moins rapportés que les accidents impliquant des véhicules motorisés);
- le type d'accident (les accidents impliquant un seul véhicule ont des taux de report moins élevés);
- le poste de police (l'engagement et l'expérience des policiers peuvent varier d'un poste à l'autre).

Et elle dépend aussi de :

- la gravité de l'accident;

Les accidents mortels ont le taux de rapport le plus élevé et, en conséquence, les données sur ces accidents sont considérées comme étant les plus fiables. Les dossiers des accidents avec « dommages matériels seulement » sont les moins fiables car leur taux de rapport peut être très faible. Même s'il vaut mieux dans un tel cas ne pas utiliser ces dossiers pour les besoins d'une évaluation, ils n'en constituent pas moins une source d'information précieuse sur les défaillances d'un système routier.

- l'âge de la personne blessée;

Des études montrent que la propension à rapporter une blessure à la suite d'un accident de la route augmente avec l'âge de la personne blessée.

- la charge de travail des policiers;

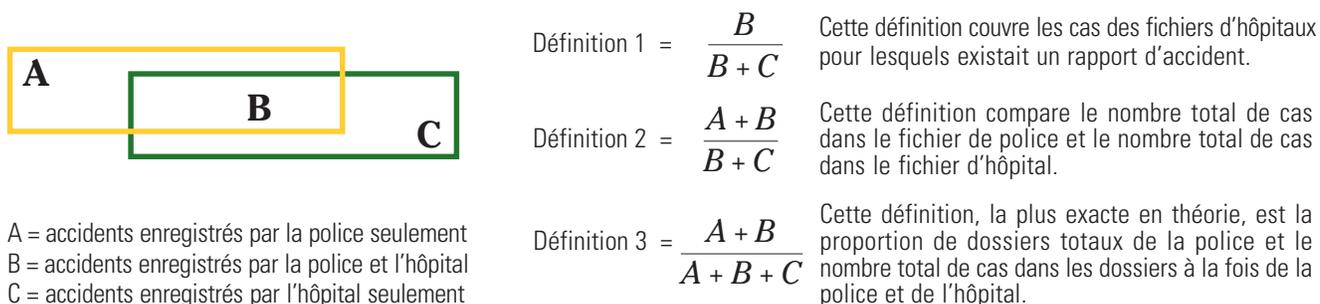
la charge de travail des policiers peut varier selon le poste et la saison; le niveau d'importance accordé à la tâche de rédaction des rapports d'accidents peut aussi varier selon le poste.

- la température.

Par mauvais temps, il est possible que les effectifs policiers disponibles ne suffisent pas à répondre à une augmentation soudaine du nombre d'accidents.

Il faut évaluer la proportion d'accidents non rapportés afin d'estimer l'importance réelle des problèmes de sécurité. La plupart des méthodes permettant d'effectuer cette évaluation, s'appuient sur une comparaison des fichiers d'accidents de la police avec les fichiers des hôpitaux. Cette méthode pourtant simple conduit néanmoins à la prise en compte de trois définitions distinctes (figure 4-6).

Figure 4-6 Comparaison de fichiers d'accidents (police et hôpital)



Les comparaisons internationales ne peuvent être effectuées si les données des divers pays à l'étude ne sont pas ajustées pour prendre en compte les différences sur la façon dont les accidents sont rapportés.

Le niveau de rapport des accidents peut varier, entre autres, en fonction de la gravité des blessures, des groupes d'usagers, du type d'accident et de l'âge des victimes. Il peut aussi varier dans le temps. Il peut en conséquence s'avérer erroné de corriger des données d'accidents incomplètes en utilisant une valeur moyenne de seuil de rapport des accidents.

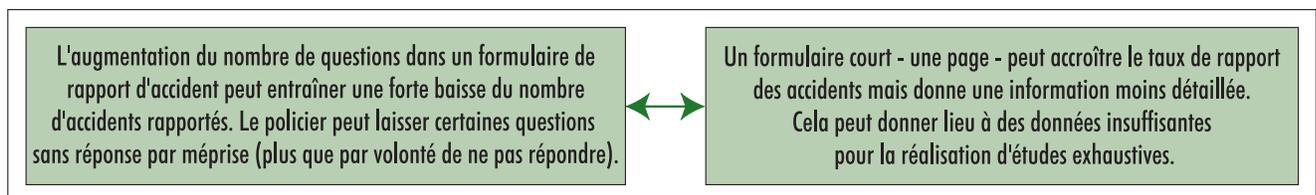
Les données sur les accidents rapportés peuvent contenir des erreurs

La qualité du contenu d'un rapport d'accident semble étroitement liée à la simplicité du formulaire. Les éléments de données difficiles à observer ou à inscrire ont tendance à être incomplets. Ainsi, le policier à qui on demande des précisions sur l'état de la chaussée ou le système de drainage laissera souvent ces espaces vides ou fournira des informations incorrectes. Il vaut mieux obtenir des données sur l'infrastructure à partir du fichier correspondant de l'administration routière.

La juste mesure

Le nombre d'informations devant être complétées par le policier influence aussi directement le pourcentage de réponses obtenu et la qualité des données (figure 4-7).

Figure 4-7 Rapport d'accident – La juste mesure



Autres méthodes permettant d'évaluer les incohérences des données

Les analyses fondées sur des données incomplètes ou inexactes peuvent être trompeuses et les actions correctives qui en résultent peuvent entraîner des dépenses inutiles. Dans la plupart des cas, le manque de cohérence résulte d'une mauvaise interprétation de la définition d'un élément (p. ex. seuil de rapport, définition des classes de gravité des blessures, etc.).

Des tests d'intégralité et de cohérence peuvent être effectués par le codeur si cette opération s'effectue de façon manuelle ou par le logiciel si la collecte de données est informatisée. Cela peut se faire lors de la saisie des données (le logiciel n'autorise pas l'utilisateur à poursuivre à la donnée suivante à moins que l'erreur de cohérence ne soit corrigée). Cela peut aussi se faire après la saisie en rendant impossible la sauvegarde et la transmission d'un rapport incohérent.

Il est fortement recommandé d'effectuer des tests de cohérence au moins sur les aspects suivants du rapport : localisation de l'accident, moment de l'accident, nombre de véhicules impliqués, type d'accident, nombre de victimes, gravité de l'accident.

4.2 AUTRES DONNÉES

4.2.1 FICHER DE DONNÉES SUR L'INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE

Le tableau 4-2 présente les données d'infrastructure les plus utiles à la réalisation d'études de sécurité.

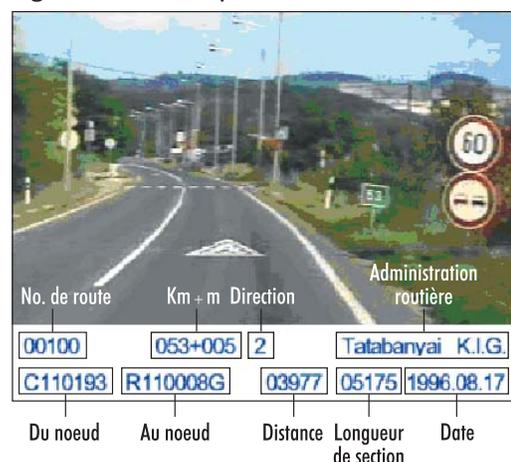
Tableau 4-2 Données sur l'infrastructure routière - Information souhaitable

LOCALISATION	NUMÉRO, CLASSE ET LONGUEUR DE LA ROUTE
<ul style="list-style-type: none"> - obtenue par une méthode ou une combinaison des méthodes suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - coordonnées X, Y - numéro de route et borne kilométrique (arrondi, p. ex. au 100 m près) - noeud-lien 	<ul style="list-style-type: none"> - numéro ou identifiant de la route - catégorie de la route (p. ex. autoroute, route principale, route secondaire, etc.) - longueur de la route
TYPE DE ROUTE	NOMBRE ET LARGEUR DES VOIES
<ul style="list-style-type: none"> - chaussée séparée/contiguë - largeur du terre-plein central 	<ul style="list-style-type: none"> - nombre de voies dans chaque sens - largeur de chaque voie
TYPE DE CROISEMENT	RÉGULATION DE LA CIRCULATION
<ul style="list-style-type: none"> - intersection (nombre d'approches) - passage à niveau (mode de contrôle) - autres types de croisements 	<ul style="list-style-type: none"> - feux de circulation - arrêt(s) - cédez
ALIGNEMENT	SURFACE DE ROULEMENT - TYPE
<ul style="list-style-type: none"> - courbe horizontale - pente 	<ul style="list-style-type: none"> - asphalte - béton - brique - route non revêtue
SURFACE DE ROULEMENT (ÉTAT)	ACCOTEMENT
<ul style="list-style-type: none"> - uni - ornières - nids de poule - adhérence 	<ul style="list-style-type: none"> - largeur - type (revêtu, non-revêtu) - état
DRAINAGE	LIMITE DE VITESSE
<ul style="list-style-type: none"> - drainage de surface - système d'égouts 	<ul style="list-style-type: none"> - permanente - temporaire
ÉCLAIRAGE DE LA ROUTE	STATIONNEMENT
<ul style="list-style-type: none"> - type - emplacement <ul style="list-style-type: none"> - au-dessus de la chaussée - sur les côtés (un ou deux) 	<ul style="list-style-type: none"> - sur un ou deux côtés de la route

4.2.2 INVENTAIRE PHOTOGRAPHIQUE ET VIDÉO

La prise de photos et de vidéos de la route et de son environnement est très utilisée pour recueillir des données sur l'infrastructure routière. Les images sont stockées soit sous forme de photos prises à intervalles réguliers (p. ex. tous les 10 m à 25 m) ou sous forme de vidéo filmée à partir d'un véhicule en marche. Règle générale, les photos donnent une image plus claire que la vidéo qui permet en contrepartie l'enregistrement en continu et l'intégration de commentaires verbaux lors de la collecte d'informations. Des données de base peuvent aussi être incluses dans la vidéo de la route telles l'emplacement réel et la direction du véhicule effectuant le relevé. La vidéo peut par la suite être visionnée au bureau, afin de coder les informations sur la route et de les saisir à l'ordinateur.

Figure 4-8 Exemple - Données sur vidéo



4.2.3 FICHER DES DONNÉES SUR LA CIRCULATION

Le tableau 4-3 énumère les principales données de circulation requises pour effectuer des études de sécurité :

Tableau 4-3 Données sur la circulation – Information souhaitable

LOCALISATION	VOLUME DE CIRCULATION
- obtenue par un ou une combinaison des méthodes suivantes : - coordonnées X, Y - numéro de route et borne kilométrique (arrondi, p. ex. au 100 m près) - noeud-lien	- véhicules/jour (DJMA) - peut-être estimé à partir de relevés de courte durée ajustés pour tenir compte des variations horaires, journalières et saisonnières
COMPOSITION DU TRAFIC	VARIATIONS DU TRAFIC
- pourcentage de : - véhicules passagers - utilitaires légers - poids lourds - motocyclettes - cyclomoteurs - bicyclettes	- heures, jours, mois, années
MANOEUVRES DE VIRAGE	DISTRIBUTION DE VITESSES
- aux intersections - pourcentages	- distribution cumulative

4.2.4 FICHER DE L'HÔPITAL

Le tableau 4-4 énumère les principales données de l'hôpital qui sont utiles pour les études de sécurité :

Tableau 4-4 Données de l'hôpital - Information souhaitable

PATIENT	HEURE ET DATE DE L'ACCIDENT
- description : - nom, âge, sexe - numéro d'identité	- selon la déclaration de la police/du patient
CODES DES BLESSURES	TRACES LAISSÉES PAR LE DISPOSITIF DE SÉCURITÉ
- IIS ^a cote de gravité lésionnelle intégrée, pour chaque partie du corps - AIS ^a échelle de gravité lésionnelle	- ecchymoses sur les épaules, etc.
NUMÉRO DE TRAJET DU VÉHICULE D'URGENCE	JOURS D'HOSPITALISATION
- bordereau	- nombre de jours
JOURS PRÉVUS AVANT UN PLEIN RÉTABLISSEMENT	
- nombre de jours	

^a En anglais: IIS: Integrated injury score; AIS: Abbreviated injury scale.

4.2.5 AUTRES FICHIERS POTENTIELS DE DONNÉES

D'autres fichiers de données peuvent aussi contenir des informations pertinentes à la réalisation d'études de sécurité :

- fichiers sur les activités d'entretien et d'exploitation du réseau (opérations de marquage, enlèvement de la neige et de la glace);
- fichiers de l'historique de projets (contenant des informations relatives à l'implantation de mesures correctives);
- fichiers des compagnies d'assurance sur les accidents (dossier d'accident du conducteur et de la voiture);
- fichiers sur les conditions météorologiques.

4.3 SYSTÈME INTÉGRÉ DE DONNÉES

Après avoir déterminé l'étendue des données requises pour un système d'information, il faut vérifier les sources potentielles de chaque élément de donnée. La décision devrait tenir compte des facteurs suivants :

- le contrôle et la mise à jour d'un tel système devraient de préférence être confiés à un organisme national - ministère des Transports, administration routière, Bureau des statistiques, etc. Le système d'information sur les accidents doit être fiable et tenu à jour. Le recours au gouvernement est le meilleur moyen d'y arriver;
- il faut un partage clair des responsabilités et des tâches relatives à la collecte et à la saisie des données, aux tests de cohérence, à la programmation, etc. Il faut aussi convenir de la fréquence et de la méthode de supervision.

Toutes les parties en cause dans le système de collecte de données et d'information sur les accidents de la route devraient être pleinement conscientes de leurs tâches et responsabilités; chacun devrait savoir :

- ce qu'on attend de lui;
 - ce qu'il est sensé faire et quand;
 - quelles sont les ressources mises à sa disposition;
 - quelle méthode il doit suivre;
 - quelles seraient les répercussions de manquements aux obligations (p. ex. s'il oubliait de respecter une échéance).
- règle générale, un fichier de données devrait être géré par l'organisme qui en a le plus besoin. Ainsi :
 - la collecte et la tenue à jour des données sur l'infrastructure et sur la circulation routière sont plus efficaces quand elles sont confiées aux administrations routières nationales et locales qui en ont besoin pour leurs travaux d'entretien et de conception;
 - les fichiers des hôpitaux, qui contiennent les dossiers des malades, sont indispensables à l'administration des soins de santé.

Il est fort probable que divers groupes d'utilisateurs voudront utiliser les données d'accidents disponibles. Les caractéristiques du système d'information devraient permettre des interrogations conviviales, tout en limitant au besoin l'accès à certaines informations confidentielles. Elles devraient aussi permettre d'effectuer différents types de requêtes, dont le niveau de détail peut être fort variable. Ainsi, par exemples :

- les politiciens et les décideurs auront tendance à ignorer les avantages d'un système d'information sur les accidents si on ne peut y accéder rapidement et facilement et s'il ne permet pas la production de rapports simples, et faciles à comprendre (de préférence avec graphiques et cartes). Les maires peuvent ne s'intéresser qu'aux groupes d'utilisateurs de la route les plus exposés aux accidents dans leur collectivité, avant de lancer une nouvelle campagne de sensibilisation;
- les fabricants de voitures ont besoin de données permettant de vérifier l'efficacité des dispositifs de sécurité de leurs véhicules, mais ils ne devraient pas avoir accès aux données personnelles des conducteurs;
- les ingénieurs de la route doivent relier les données d'accidents, de circulation et d'infrastructure, dans le but d'identifier les endroits hasardeux d'un réseau, déterminer les causes de ces déficiences et proposer des correctifs appropriés (*section 4.3.1*);
- les chercheurs doivent être en mesure d'effectuer des requêtes pouvant être complexes, portant sur des données très désagrégées.

Éléments clés d'un système d'information

Les éléments clés du succès du maintien d'un système d'information sont les suivants :

- adoption de définitions et de terminologies claires (afin que chacun connaisse l'information disponible pour un élément de donnée particulier);
- dialogue continu avec les usagers potentiels et adaptation au besoin des systèmes de données pour satisfaire les besoins de ces usagers;
- accès rapide et facile à tous les groupes et niveaux d'utilisateurs;
- capacité de fournir l'information en temps opportun;
- niveau de centralisation modéré (les données devraient être saisies près de leur source);
- réduction des coûts de mise à jour des données (choix de plate-forme de base de données et de langage de programmation qui facilitent les mises à jour ultérieures);
- cohérence du même élément de donnée dans divers fichiers (attention aux éléments de données qui permettent de relier les bases de données).

4.3.1 LIAISON DE FICHIERS

L'identification des déficiences de sécurité d'un réseau routier s'effectue à partir d'une comparaison entre les niveaux de sécurité de différents sites routiers, routes, parties de réseaux ou même de différents pays. Les indicateurs utilisés pour procéder à cette identification incluent :

- accidents avec victimes par 1 000 habitants (ville, région);
- accidents avec victimes par 1 000 véhicules immatriculés;
- accidents avec victimes par 100 kilomètres de routes;
- accidents avec victimes par 1 000 000 de véhicules-kilomètres.

Le point commun de ces différents indicateurs de sécurité est qu'ils ne peuvent être calculés directement à partir des données stockées dans les fichiers d'accidents. D'autres éléments d'information sont requis : nombre d'habitants dans une ville ou dans un pays, nombre de véhicules utilisant le réseau chaque jour, nombre de véhicules immatriculés, etc. Ces données se trouvent dans :

- le fichier de données sur l'infrastructure routière;
- le fichier de données sur la circulation;
- le fichier de données sur les conducteurs;
- le fichier de données sur l'immatriculation des véhicules;
- les statistiques sur la population, etc.

La manière la plus évidente de mettre l'information recherchée à la disposition des usagers serait de stocker toutes les données requises dans le même fichier que les données d'accidents. Il en résulterait une base de données gigantesque, difficile à manipuler et qui contiendrait des éléments d'information jamais utilisés par certaines catégories d'utilisateurs. En outre, la plupart de ces éléments d'information sont recueillis et emmagasinés dans des fichiers gérés par des organismes distincts. Le stockage simultané des données dans des lieux différents entraînerait non seulement un dédoublement inutile et coûteux des efforts mais augmenterait aussi les possibilités d'erreurs.

Il est donc préférable de relier les bases de données de manière à pouvoir en extraire les informations requises. En reliant deux bases de données ou davantage pour effectuer les analyses de sécurité, on crée ainsi un véritable système d'information sur la sécurité.

Les bases de données peuvent être reliées de façon temporaire ou permanente, en autant qu'un élément commun et unique d'information soit présent dans les deux bases à relier (clé de liaison) (figure 4-9). Un système d'information sur la sécurité peut comprendre un grand nombre de fichiers composants, et il devrait inclure au minimum :

- les données sur les accidents;
- les données sur l'infrastructure routière;
- les données sur la circulation.

Les autres informations potentielles portent sur :

- les véhicules automobiles;
- les conducteurs;
- le fichier d'hôpital;
- tout autre fichier d'inventaire contenant des informations utiles.

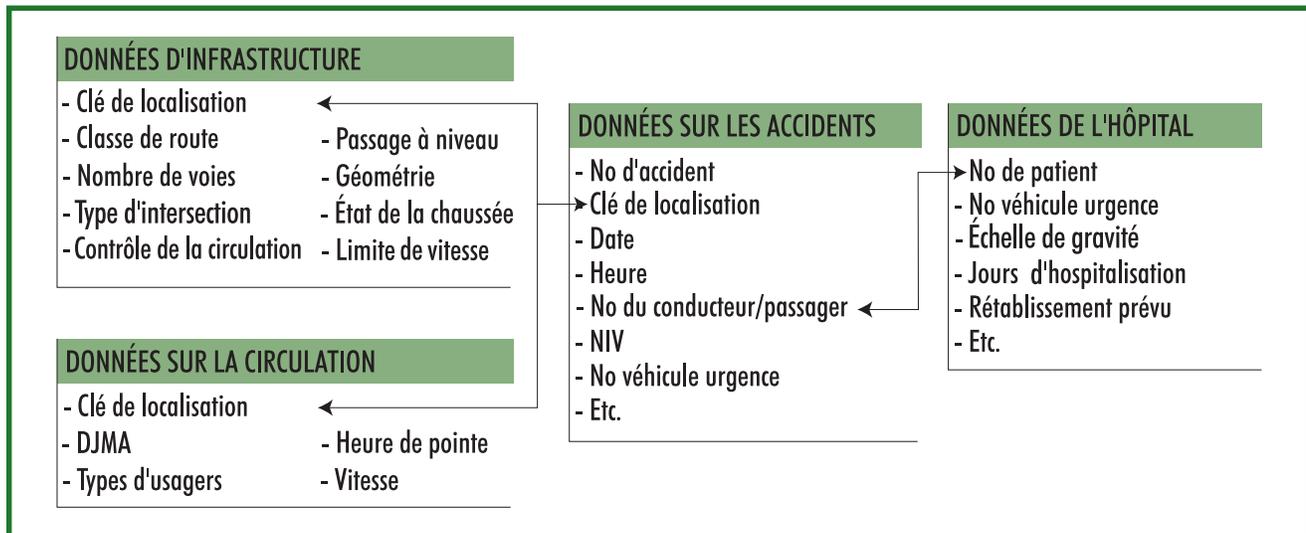
La clé de liaison peut être, par exemple :

- le système de référence spatiale (reliant le fichier accidents, le fichier d'infrastructure routière et le fichier de circulation);
- le numéro de permis de conduire du conducteur (reliant les fichiers accidents et conducteurs);
- le numéro d'immatriculation du véhicule ou numéro d'identification du véhicule (reliant les fichiers accidents et véhicules automobiles).

D'autres clés de liaison possibles :

- numéro de pont;
- numéro de passage à niveau;
- numéro du rapport d'accident;
- numéro de l'éthylotest;
- numéro de trajet du véhicule d'urgence;
- etc.

Figure 4-9 Liaison de fichiers



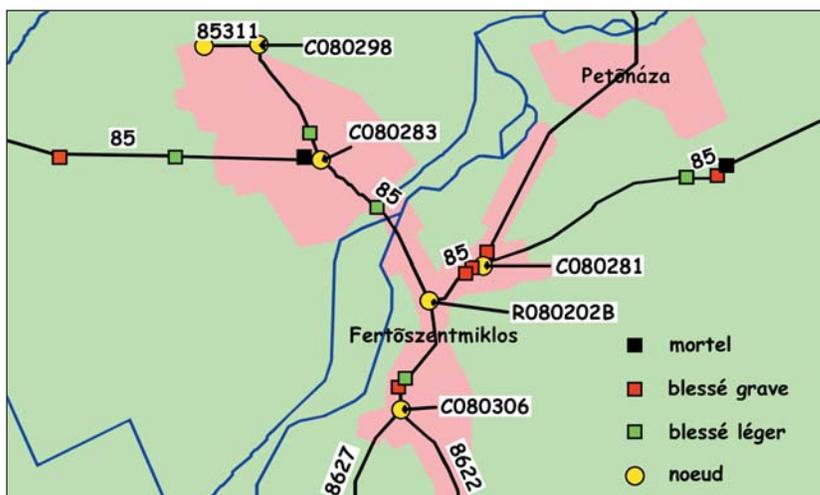
On le constate, les données emmagasinées sur support informatique sont plus utiles si la base de données est conçue de façon à permettre la liaison avec d'autres bases de données. Au moment de structurer les systèmes de données, il faut donc prévoir la création de certains champs de liaisons.

Dans un système d'information géographique (SIG), une grande quantité d'informations peut être stockée avec ses coordonnées individuelles de localisation, ce qui permet de les afficher sur une carte avec leur emplacement réel.

Par exemple, plusieurs informations du fichier d'infrastructure routière comme les nœuds, les objets sur les abords de la route, les limites des villes, les arrêts de bus, les panneaux de signalisation, les changements de type de chaussée, etc. peuvent s'afficher sur une carte. Pour

chacun de ces éléments d'information, on peut aussi accéder à ses différents attributs (p. ex. type, dimension et date d'installation d'un panneau de signalisation). De la même façon, les endroits dangereux d'un réseau peuvent aussi être affichés sur une carte, en fonction d'un critère d'identification qui aura été au préalable choisi et calculé (figure 4-10).

Figure 4-10 Exemple – Application SIG



4.4 AUTRES OUTILS DE COLLECTE DE DONNÉES

4.4.1 ÉQUIPEMENTS D'ENREGISTREMENT LORS D'ACCIDENTS

De nouvelles technologies permettent la collecte d'informations précieuses sur les circonstances des accidents.

Enregistreur d'accidents

L'absence de marques de dérapage (attribuable au système de freinage antiblocage) ou de signes visibles des gestes posés ou non par le conducteur dans les secondes précédant l'accident peut complexifier l'analyse de l'accident. L'enregistreur d'accidents est une « boîte noire » qui agit comme un enregistreur de vol : il enregistre les données les plus importantes sur les circonstances de l'accident. Les ingénieurs en sécurité routière disposent alors de données objectives sur le déroulement de l'accident. L'appareil peut enregistrer les informations suivantes (figure 4-11) :

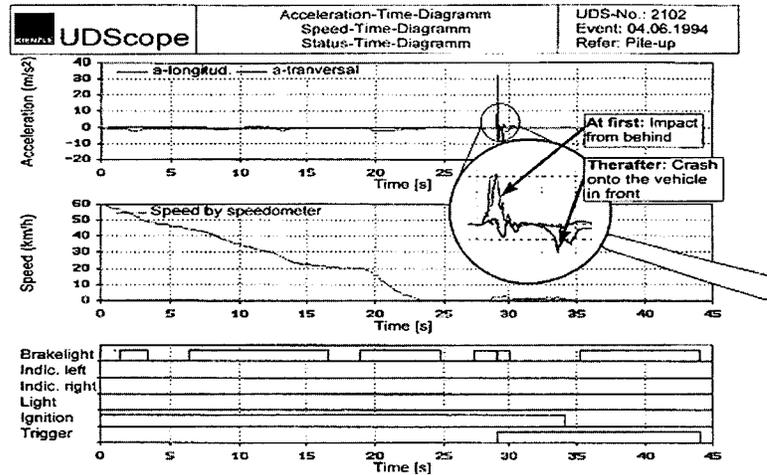
- l'accélération transversale et longitudinale;
- la vitesse;
- la rotation du véhicule;
- le dérapage;
- la mise en marche de l'allumage, des feux, des clignotants et des freins;
- etc.

L'appareil reconnaît l'accident de manière entièrement automatique et enregistre les données avec une très grande précision de 30 secondes avant jusqu'à 15 secondes après l'accident. L'appareil peut être installé dans n'importe quel type de véhicule et il peut stocker les données de plus d'un accident.

Mesure photogrammétrique

Il s'agit de prendre une série de photos de l'extérieur et de l'intérieur du véhicule avec de petits appareils spécialement adaptés. Les photos servent ensuite à créer des images en trois dimensions. Le travail sur le terrain s'effectue en quelques minutes. L'analyse est par la suite effectuée, au besoin par des experts. Ce type d'équipement permet notamment de vérifier l'efficacité des dispositifs de retenue.

Figure 4-11 Exemple d'enregistreur automatique de données



4.4.2 SYSTÈMES EXPERTS

Même si les policiers sont les mieux placés pour recueillir les données d'accidents, cette tâche n'est pas leur seule responsabilité lors d'un tel incident. Ils doivent aussi protéger le lieu de l'accident, s'occuper des blessés et rétablir la circulation. L'adoption de nouvelles technologies de collecte de données d'accidents au site doit nécessairement prendre en compte les besoins et les contraintes de travail des policiers.

Le développement de systèmes experts de collectes de données d'accidents peut contribuer à alléger la charge de travail des policiers, tout en améliorant l'exactitude et la cohérence des données recueillies. Les systèmes experts sont des programmes informatiques qui contiennent des connaissances dans un champ d'application spécifique.

Le policier qui recueille l'information requise sur les circonstances de l'accident doit porter certains jugements comme : le conducteur et les passagers portaient-ils vraiment leur ceinture de sécurité comme ils l'ont déclaré? Quelle est la véritable étendue des dommages sur le véhicule? Comment classer la gravité de l'accident? Répondre à ces questions et à plusieurs autres prend un temps précieux mais peut aussi entraîner des statistiques incohérentes quand deux policiers portent des jugements différents sur une même situation. Les systèmes experts contiennent des règles intégrées qui aident les policiers à prendre de meilleures décisions.

Les systèmes experts peuvent, en plus, lui permettent de recueillir non seulement les données demandées par l'État, mais aussi quelques données spécifiques qui sont d'un intérêt particulier pour un contexte routier donné (p. ex. les conditions des abords de route pour un accident avec sortie de route ou les conditions d'éclairage pour un accident de nuit).

4.5 CONCLUSION

Les développements informatiques des dernières décennies ont permis d'effectuer des progrès importants en matière de collecte et de gestion de bases de données.

- d'une part, il est maintenant possible de procéder à des cueillettes d'information plus précises, mieux validées et plus pertinentes, pouvant ainsi mieux répondre aux besoins des utilisateurs de ces données.
- d'autre part, il est aussi beaucoup plus facile de tirer profit de l'ensemble des informations recueillies et emmagasinées dans des bases de données informatisées, pour autant que l'on fasse un usage adéquat des technologies disponibles.
- le tout à des coûts beaucoup plus raisonnables que par le passé.

Malgré ces progrès, on note que dans certains pays, des pressions importantes sont effectuées par les corps policiers dans le but de diminuer les efforts consentis à la collecte de données d'accidents. Dans la plupart des cas, ce sont eux qui ont à assumer l'ensemble des coûts de cette activité alors que les bénéfices résultant de l'accès à des informations fiables sont partagés par plusieurs groupes d'intervenants.

Si une telle situation se présente, il faut alors procéder à une analyse systémique du problème et renouer le dialogue entre les différents intervenants touchés par cette question, dans le but d'en arriver à une solution qui soit dans l'intérêt de l'ensemble de la collectivité. À l'évidence, les préoccupations légitimes d'un groupe spécifique ne devraient pas aller à l'encontre du mieux-être d'une population. Les coûts associés au recueil des données d'accidents apparaissent en effet bien marginaux en regard des préjudices économiques et sociaux pouvant résulter de la perte de ces informations fondamentales.

RÉFÉRENCES

- Andreassen, D. (1996)** *The electronic accident report form*, Research Report 284, ARRB Transport Research, Australia.
- Baguley, C.J. (1995)** *Interim guide on identifying, prioritising and treating hazardous locations on roads in Malaysia*, Institut Kerja Raya Malaysia/Transport Research Laboratory.
- Briggs, D.W. et Chatfield, B.V. (1987)** *Integrated highway information systems*, NCHRP Synthesis of Highway Practice 133, Transportation Research Board, Washington, DC., 31 p.
- Elvik, R. et Mysen, Anne Borger (1999)** *Incomplete accident reporting: A meta-analysis of studies made in thirteen countries*, Transportation Research Record 1665, pp. 133-140, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Hauer, E. (1997)**. *Observational before after studies in road safety*, Elsevier Science, Pergamon. 289 p.
- Hauer, E. et Hakkert, A.S. (1987)** *Extent and some implications of incomplete accident reporting*. Transportation Research Record 1185, pp. 1-10, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Hughes, W.E., Reinfurt, D., Yohanan, D., Rouchon, M. et McGee, H. (1993)** *New and emerging technologies for improving accident data collection*, Report No. FHWA-RD-92-097, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- James, H.F. (1991)** *Under-reporting of road accidents*. Traffic Engineering and Control, December 1991, pp. 574-583.
- National Safety Council (1990)** *CADRE-Critical automated data reporting elements for highway safety analysis*, National Safety Council, Washington, DC.
- O'Day, J. (1993)** *Accident data quality*, Synthesis of Highway Practice 192, Transportation Research Board, Washington DC., 48 p.
- Ogden, K.W. (1996)** *Safer roads, A Guide to road safety engineering*, Avebury technical, 516 p.
- Ross Silcock/TRL** *Road accident data systems*, Asian Development Bank.
- Thielman, C.Y. et Griffith, M.S. (1999)** *An overview of three expert systems for crash data collection*, Transportation Research Record 1665, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Transportation Research Board (1985)** *Introduction to comprehensive computerized safety record-keeping systems*, Transportation Research Circular 293, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Zegeer, C.V. (1982)** *Highway accident analysis systems*, NCHRP Synthesis of Highway Practice 91, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Zegeer, C.V., Huang, H.F., Stewart, J.R., Piferer, R. et Wang, J. (1998)** *Effects of a towaway reporting threshold on crash analysis results*, HSIS summary report, FHWA-RD-98-114, Federal Highway Administration, 6 p.

ANNEXE 4-1

Exemple - Rapport d'accident



SECTION 1

Heure		Année		Mois		Jour		Numéro d'événement		C.R.P.Q.		Année		Mois		Jour		N° séquentiel		Feuille	
Débit de fuite : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		DOMMAGES MATÉRIELS <input type="checkbox"/> 1- jusqu'à 1 000 \$ <input type="checkbox"/> 2- plus de 1 000 \$		DOMMAGES CORPORELS		Nombre de personnes		Tuaux		Blessés		Nombre de véhicules									
Informatique		N-S		Rues		O-E		Véhicule 1		Véhicule 2		Modèle		REMORQUAGE <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non							
Lieu de l'accident - Municipalité		Code municipal		Zone		Abscisse (Mercator)		Ordonnée													
N° de route		Adresse		rue/rang/chemin		Intersection (près de)		Distance		N		S		E		O					
Longitude		Degré		Min		Sec		1/100e Sec		Latitude		Degré		Min		Sec		1/100e Sec			
Nom et prénom		N° de permis de conduire		Prov./État																	
Adresse		Rue		N° app.		Municipalité		Code postal		Téléphone											
N°		Marque		Année		N° d'immatriculation		Prov./État		ASSURANCE		Date de naissance		Mois		Jour		Sexe		M F	
A		B		C		Non porteur		Non valide		Non assuré		Non obligatoire		Montant des dommages		1- Jusqu'à 1 000 \$		2- Plus de 1 000 \$		3- Aucun	
N°		Nom et prénom		N° de police		Nom de la compagnie		A		B		C		VÉHICULE							
Adresse		Rue		N° app.		Municipalité		Code postal		Téléphone											
N°		N° d'identification de l'exploitant		Nom et prénom de l'exploitant																	
Nom et prénom		N° de permis de conduire		Prov./État																	
Adresse		Rue		N° app.		Municipalité		Code postal		Téléphone											
N°		Marque		Année		N° d'immatriculation		Prov./État		ASSURANCE		Date de naissance		Mois		Jour		Sexe		M F	
A		B		C		Non porteur		Non valide		Non assuré		Non obligatoire		Montant des dommages		1- Jusqu'à 1 000 \$		2- Plus de 1 000 \$		3- Aucun	
N°		Nom et prénom		N° de police		Nom de la compagnie		A		B		C		VÉHICULE							
Adresse		Rue		N° app.		Municipalité		Code postal		Téléphone											
N°		N° d'identification de l'exploitant		Nom et prénom de l'exploitant																	
Gouvernement		Description		Montant des dommages																	
F		P		M		1- Jusqu'à 1 000 \$		2- Plus de 1 000 \$		3- Aucun											
Autre		Propriétaire - Nom et prénom		Adresse		Téléphone															
Autres commentaires :																					
Code d'impact																					
LIEU DE REMISAGE																					

SECTION 2

Véhicules non déplacés
 Véhicules déplacés (Reconstitués selon versions et constatations)

INDIQUER

- Orientation et points de repère
- Position des véhicules avec identification
- Direction des véhicules et point d'impact
- Traces et distance de freinage
- Largeur de la chaussée
- Panneau, signaux, lignes, etc.
- Vitesse autorisée

km/h

A		B		C		D		E		F		Inscrire les noms, prénoms, adresses	
Référence		Immatriculation - Transporteur		Prov./État		Médecin - Hôpital							

SERVICE DE POLICE

Nom de l'unité

Signature du policier ou de la policière

N° du matricule

N° du matricule

Réviseur

SECTION 1

1 V1

DIRECTION OF VEHICLES PRIOR TO IMPACT

2 V2

MOVEMENT OF VEHICLES

11- Going straight ahead	22- Leaving / entering traffic
12- Turning right except on right light	23- Leaving / entering express lane
13- Turning left	24- Passing on the left
14- Starting in traffic	25- Passing on the right
15- Slowing or stopping	26- Changing lanes
16- Stopped in traffic	27- Making U-turn
17- Parking	28- Avoiding an obstacle on pavement
18- Legally parked	29- Breakdown
19- Illegally parked	30- Unknown movement
20- Leaving curb parking	31- Turning right on right light
21- Backing up	99- Other*

3 V1

4 V2

5

ROADWAY CONDITIONS

1- Dry	3- Snow-covered	5- Muddy	9- Other*
2- Wet	4- Ice-covered	6- Oily	

WEATHER

0- Sleet	4- Snow / Hail	8- Blizzard
1- Clear	5- Fog	9- Other*
2- Cloudy / Overcast	6- Shower	
3- Rain / Drizzle	7- Strong winds	

LIGHT

DAY	NIGHT
1- Clear	3- Lighted road
2- Dusk	4- Unlighted road

TYPE OF ACCIDENT

Motor vehicle collision with	Stationary object	No collision
11- Motor vehicle	17- Lamp post / Utility post	61- Overturned
12- Pedestrian	18- Tree	62- Submersion
13- Train	19- Guard rail / Crash barrier	63- Fire / Explosion
14- Non-motorized vehicle	20- Pillar (Bridge / Tunnel)	64- Left roadway
15- Animal	21- Impact absorber	99- Other no collision*
16- Temporary obstacle	29- Other*	

TYPE OF VEHICLE

41- Automobile	50- Minibus
42- Light truck	51- Taxi
43- Truck	52- Emergency vehicle
44- Truck tractor	53- Motorcycle
45- Vehicle used for transporting dangerous substances	54- Moped
46- Special mobile equipment	55- Recreational vehicle
47- Specialized-task vehicle	56- Snowmobile
48- Bus	57- Bicycle
49- School bus	99- Other*

SECTION 2

6

ZONE

- School
- Residential
- Business / Commercial
- Industrial / Manufacturing
- Rural
- Forest
- Recreational / Park / Camping

7

ROAD CATEGORY

- Numbered highway
- Street
- Road
- Lane
- Forest / Mining road
- Parking lot
- Other*

SEAT BELT

1- None 2- Not used 3- Used 4- Not properly fastened

FUNCTION

4	1	2
3	2	3
7	8	9

1- Driver
 2-7- Passenger onto vehicle
 8- Hanging onto vehicle
 9- Pedestrian

VICTIM'S STATE

- Dead
- Seriously injured
- Minor injuries
- No apparent injury

OCCUPIED VEHICLE
 Party Number

SEX
 M / F

HEALTH INSURANCE NUMBER

LOCATION

21- Roadway intersection	23- Median	26- Level crossing	29- Curb
22- Roadway between intersections	24- Shopping centre	27- Tunnel / viaduct / bridge	99- Other*
	25- Private land or road	28- Sidewalk	

ROADWAY SURFACE FEATURES

1- Level / straight	2- Level / curve	3- Slope / straight	4- Slope / curve
---------------------	------------------	---------------------	------------------

ROADWAY COMPOSITION

1- Asphalt	2- Concrete	3- Gravel	4- Earth	9- Other*
------------	-------------	-----------	----------	-----------

STATE OF THE ROADWAY

1- Good	2- Under construction	3- Being repaired	4- Hole / rut / bump	9- Other*
---------	-----------------------	-------------------	----------------------	-----------

ROAD SIGNS AND TRAFFIC SIGNALS

11- None	16- School crossing light	21- Level crossing (light / barrier)
12- Traffic light	17- Pedestrian crossing light	22- Warning sign
13- Flashing red light	18- "STOP" sign	23- Flashing school bus lights
14- Flashing yellow light	19- "YIELD" sign	99- Other*
15- Advanced green light	20- Police / Crossing Guard / Signaler	

VISIBILITY

11- Good	14- Embankment	18- Dirt / Sleet / Snow on vehicle
Reduced due to	15- Vehicle	19- Steam / Smoke / Dust
12- Tree / hedge / fence	16- Blinding headlights	20- Weather
13- Building	17- Blinding other than by headlights	99- Other*

PEDESTRIAN MOVEMENT

11- Crossing with signal	19- Coming out, in front / behind, parked vehicle	Pedestrian 1
12- Crossing against signal	20- Child boarding / alighting from school bus	2
13- Crossing without signal, marked road surface	21- Boarding / alighting from, except school bus	
14- Crossing without signal, unmarked road surface	22- Pushing / working on vehicle	
15- Crossing diagonally	23- Working on road surface	
16- Walking on curb, with traffic	24- Playing on road surface	
17- Walking on curb, against traffic	25- Not on road surface	
18- Hitch-hiking	99- Other*	

RESERVED FOR THE SOCIÉTÉ

23
 24
 25

5188A-6 (2002-11)

CHAPITRE 5

Identification

Carl Bélanger et Patrick Barber

CHAPITRE 5

Identification

	Page
5.1 INTRODUCTION	103
5.2 CIBLES	104
→ 5.2.1 Points noirs	104
→ 5.2.2 Autres cibles	107
5.3 IDENTIFICATION FONDÉE SUR LES ACCIDENTS	108
→ 5.3.1 Identification - Données sur tous les accidents	108
Fréquence d'accidents	109
Taux d'accidents	111
Taux d'accidents critique	112
Indice équivalent de dommages matériels seulement	114
Indice de gravité relative	115
Critères combinés	117
Modèles de prédiction d'accidents	118
Méthodes empiriques Bayésiennes	120
→ 5.3.2 Types d'accidents	122
Tests de proportion (distribution binomiale)	122
→ 5.3.3 Critères fondés sur les accidents : conclusions	125
5.4 IDENTIFICATION PROACTIVE	127
→ 5.4.1 Audits de sécurité routière (ASR)	128
→ 5.4.2 Identification : une perspective élargie	131
5.5 CONCLUSION	134
RÉFÉRENCES	136
ANNEXE 5-1 – ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES	139
ANNEXE 5-2 – EXEMPLE	147

LISTE DES FIGURES

Figure 5-1	Processus de correction des points noirs	103
Figure 5-2	Processus de tamisage	103
Figure 5-3	Carte de fréquences d'accidents	104
Figure 5-4	Noeuds et liens	106
Figure 5-5	Zone d'influence d'un noeud	106
Figure 5-6	Comparaison – Sections fixes et mobiles	107
Figure 5-7	Débits considérés – Taux d'accidents	111
Figure 5-8	Taux d'accidents moyen et taux d'accidents critique	112
Figure 5-9	Processus décisionnel d'une administration routière	133
Figure 5-A1	Choix des populations de référence	140
Figure 5-A2	Sécurité relative d'un site	141
Figure 5-A3	Distribution de Poisson ($m = 5$)	143
Figure 5-A4	Utilitaire de calcul – Intervalle de confiance	143
Figure 5-A5	Biais de sélection	144
Figure 5-A6	Relation linéaire entre accidents et débits	145
Figure 5-A7	Relation non linéaire entre accidents et débits	145
Figure 5-A8	Taux d'accidents critique – Hypothèse de linéarité	146

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5-1	Stratégies de réduction des accidents (Grande-Bretagne)	107
Tableau 5-2	Exemple – Facteurs de pondération correspondant au coût des accidents	115
Tableau 5-3	Coûts des accidents en Australie	115
Tableau 5-4	Biais typiques de critères individuels	117
Tableau 5-5	Sommaire des sections identifiées comme dangereuses	126
Tableau 5-6	Liste d'éléments dangereux	128
Tableau 5-7	Exemple – Principaux problèmes détectés lors d'audits de routes existantes	130
Tableau 5-8	Exemple – Indicateurs de performance	132
Tableau 5-A1	Exemple – Taux d'accidents par catégorie de route (É.-U.)	140
Tableau 5-A2	Exemple – Taux d'accidents aux intersections	141
Tableau 5-A3	Exemple – Données d'accidents	148
Tableau 5-A4	Exemple – Résultats	149

LISTE DES ABRÉVIATIONS

I_T = seuil d'investigation

P = période d'analyse [années]

SITE

CI = valeur du critère d'identification

f = fréquence d'accidents [acc./période]

f_e = fréquence d'accidents attendue [acc./période]

f_{EB} = fréquence d'accidents ajustée EB [acc./période]

f_{ei} = fréquence attendue d'accidents de type i

f_i = fréquence d'accidents de type i [acc./période]

f_p = fréquence d'accidents prédite [acc./période]

\overline{IEDMS} = indice équivalent de dommages matériels seulement

\overline{IEDMS} = IEDMS moyen

IGR = indice de gravité relative

\overline{IGR} = IGR moyen

K = constante statistique (taux d'accidents critique)

L = longueur de section [km]

m = niveau de sécurité

\hat{m} = niveau de sécurité estimé

$P.A.$ = potentiel d'amélioration

Q = débit journalier moyen annuel (DJMA) [véhicules/jour]

T = taux d'accidents [acc./Mvéh.-km]

T_c = taux d'accidents critique [acc./Mvéh.-km]

POPULATION DE RÉFÉRENCE

C_i = coût moyen d'un accident de type i

CI_{pr} = valeur moyenne du critère d'identification

f_{pr} = fréquence moyenne d'accidents [acc./période] (population de référence)

\overline{IEDMS}_{pr} = IEDMS moyen

\overline{IGR}_{pr} = indice moyen de gravité relative

n = nombre de sites

p_i = proportion moyenne des accidents de type i

Q_w = débit journalier moyen annuel pondéré [véhicules/jour]

s = écart type

s^2 = variance

T_{pr} = taux d'accidents moyen [acc./Mvéh.-km]

w_i = facteur de pondération pour accident de type i

5.1 INTRODUCTION

Ce chapitre décrit des méthodes d'identification de problèmes de sécurité routière. Étant donné le thème de ce manuel, les méthodes présentées visent à identifier des problèmes qui ont de bonnes chances d'être corrigibles par des interventions au niveau de l'infrastructure routière. À cette fin, on reconnaît aujourd'hui deux principales approches qui sont expliquées dans ce chapitre :

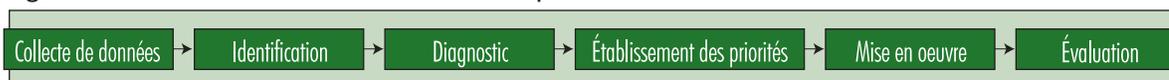
- une approche réactive (**section 5.3**), qui s'appuie sur l'analyse des données d'accidents disponibles. Les descriptions de ce chapitre sont adaptées à l'identification de **points noirs**, puisqu'il s'agit généralement du premier type d'intervention de sécurité effectué par une administration routière. Cependant les méthodes et outils qui sont décrits peuvent aussi servir à la détection de :
 - problèmes de sécurité à des sites qui sont de plus grande dimension que les points noirs (route, partie de réseau, ou ensemble de sites d'un même type);
 - concentrations anormales de certains types d'accidents, même à des endroits où la fréquence totale d'accidents n'est pas anormalement élevée.
- une approche proactive (**section 5.4**), qui s'appuie sur les observations des caractéristiques physiques et opérationnelles d'une route ou d'un projet routier pour identifier les lacunes de sécurité de routes existantes ou futures. C'est le domaine des audits de sécurité routière, qui s'est rapidement développé au cours des années 1990.

Finalement, la **section 5.4.2** explique en fin de chapitre que l'identification ne doit pas se limiter à l'application de ces deux approches formelles (réactive et proactive). Après tout, la très grande majorité des actions d'une administration routière ont un effet sur la sécurité, qu'elles soient initiées pour ce motif ou non. Si ces effets étaient formellement évalués avant les réalisations, des accidents pourraient être évités, sans qu'il n'y ait nécessairement de coûts supplémentaires.

Processus d'amélioration de points noirs

Les étapes d'un programme d'amélioration de points noirs sont les suivantes :

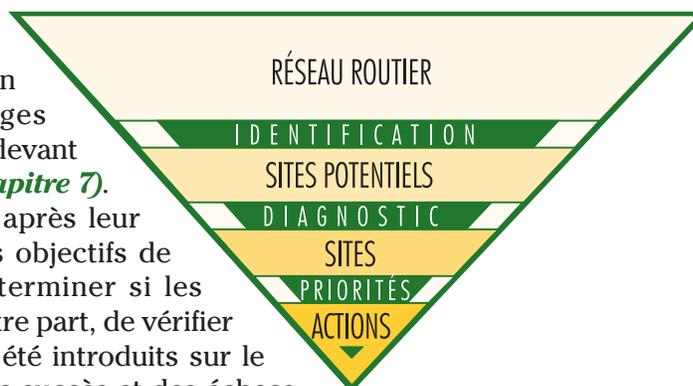
Figure 5-1 Processus de correction des points noirs



Au terme de l'étape d'identification, la nature des problèmes de sécurité et les traitements envisageables ne sont généralement pas connus. Les sites qui ont été détectés sont donc qualifiés de « sites potentiels ». Ce n'est qu'au terme de l'étape de diagnostic de ce processus que l'on pourra déterminer si des actions au niveau de la route sont requises et préciser au besoin la nature de ces actions (**chapitre 6**).

Les projets qui auront été développés à l'étape de diagnostic devront alors être hiérarchisés en fonction de leurs coûts et avantages respectifs, de façon à préciser les actions devant être mises en œuvre de façon prioritaire (**chapitre 7**). L'évaluation de l'effet des interventions, après leur implantation, complète ce processus. Les objectifs de cette évaluation sont d'une part de déterminer si les avantages anticipés ont été atteints et d'autre part, de vérifier si des problèmes non anticipés n'ont pas été introduits sur le réseau. On s'assure ainsi de tirer profit des succès et des échecs passés pour améliorer l'efficacité des actions futures (**chapitre 8**).

Figure 5-2 Processus de tamisage



Un processus d'amélioration de points noirs peut ainsi être vu comme un exercice de tamisage puisqu'à mesure que l'analyse progresse, le nombre de sites diminue (figure 5-2).

5.2 CIBLES

Pendant les premières années de la mise en œuvre d'un programme d'amélioration de la sécurité routière, les sites identifiés comme étant dangereux sont généralement de dimension restreinte, c.-à-d. des points noirs (*section 5.2.1*), mais au fur et à mesure de leur traitement, la dimension des sites augmente (*section 5.2.2*).

5.2.1 POINTS NOIRS

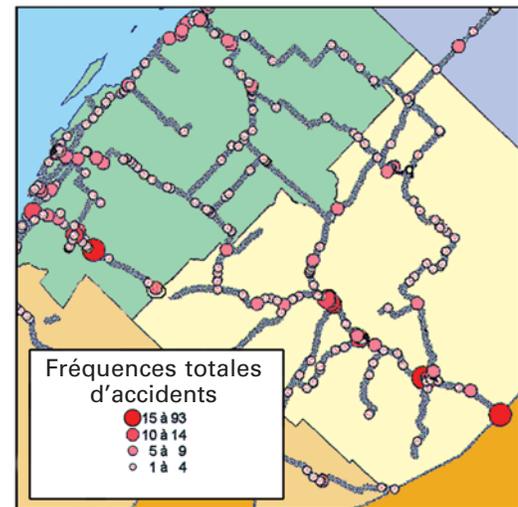
L'expression « points noirs » serait un produit de la première méthode d'identification de sites dangereux, qui consistait à piquer des punaises sur une carte pour marquer l'emplacement de chaque accident. On utilisait des punaises de couleur distincte pour chaque niveau de gravité d'accident. Comme le noir était réservé pour les accidents de type « Dommages matériels seulement », leur concentration en certains points de la carte créait des points noirs facilement repérables. On fait encore appel à ce type de méthode aujourd'hui, même si punaises et cartes en papier sont le plus souvent remplacées par des bases de données informatisées et des systèmes d'information géographique (figure 5-3).

Il n'y a pas de définition universellement acceptée du terme « points noirs ». L'expression « site dangereux » est souvent utilisée comme synonyme. Selon la description du paragraphe précédent, un point noir était à l'origine une partie de route de dimension limitée où l'on retrouvait une concentration d'accidents. Mais la définition a progressivement évolué et plusieurs chercheurs recommandent maintenant d'y inclure le concept de *potentiel d'amélioration*, qui est central aux descriptions de ce présent chapitre (McGuigan, 1981; Elvik, 1988; Hauer, 1996).

La correction des points noirs est généralement considérée comme une action très rentable, en termes de réductions d'accidents et en termes économiques. Ce qui explique que l'identification et la correction des points noirs d'un réseau constituent souvent des éléments centraux du programme de sécurité d'une administration routière, surtout au cours des premières années d'application d'un tel programme.

Mentionnons que certains auteurs émettent des doutes quant à l'efficacité réelle des programmes de correction de points noirs, alléguant que certains des accidents qui ne se produisent plus aux sites traités ont tout simplement migré un peu plus loin le long de la route (*section 8.3.2*). Même s'il n'y a pas encore de réponse définitive à cette hypothèse, il est clair qu'une migration des accidents peut se produire dans certains contextes particuliers. C'est le cas par exemple de la correction d'une première courbe raide le long d'un itinéraire qui pourra entraîner une migration des accidents à la prochaine courbe raide rencontrée, ou encore du remplacement d'une intersection conventionnelle par un échangeur à la fin d'une autoroute, qui pourra entraîner un déplacement des accidents à la prochaine intersection conventionnelle. Les analystes en sécurité doivent donc étendre leur investigation au-delà des limites physiques du site étudié pour éviter de telles situations.

Figure 5-3 Carte de fréquences d'accidents



Potentiel d'amélioration (P.A.)

La réduction maximale d'accidents pouvant être attendue d'une intervention de sécurité correspond en théorie à la fréquence moyenne d'accidents à long terme - ou **niveau de sécurité** - du site considéré. En pratique, la situation est cependant plus complexe.

La seule manière certaine d'éviter tous les accidents de la route serait d'éliminer toute circulation, ce qui est rarement une option envisageable. Compte tenu de l'état actuel de la technique, il apparaît inévitable que certaines combinaisons d'erreurs humaines, de défauts d'infrastructure ou de défauts des véhicules contribuent à l'occurrence d'accidents. De façon plus réaliste, la réduction d'accidents pouvant être obtenue se situe donc quelque part entre la fréquence moyenne d'accidents à long terme d'un site (avant intervention) et zéro.

Les différents types de routes et de sites qui constituent un réseau routier n'ont pas tous le même niveau de sécurité. Par exemple, les fréquences d'accidents sont en général plus élevées aux intersections à 4 branches qu'à celles à 3 branches, puisque le nombre de conflits de circulation est substantiellement moindre à ces dernières. C'est donc dire que deux sites peuvent avoir le même nombre d'accidents mais des potentiels d'amélioration forts différents.

À l'étape de l'identification, l'objectif est de détecter les sites où une concentration anormale d'accidents a de bonnes chances d'être réduite de façon efficace par des interventions au niveau de l'infrastructure, plutôt que des sites où la fréquence élevée d'accidents est attribuable à des motifs sur lesquels on n'a aucune prise¹. Hauer (1996) utilise l'expression « sites prometteurs ».

Pour identifier ces sites, la démarche recommandée est la suivante :

1. définir les **populations de référence**, c.-à-d. des sous-ensembles de sites présentant des caractéristiques semblables et qui devraient en conséquence avoir des performances de sécurité similaires.

S'il était possible de prendre en compte toutes les variables qui influencent la sécurité lors de la formation des populations de référence - non seulement l'ensemble des variables géométriques et des variables de circulation, mais aussi des facteurs comme les comportements de conduite des usagers de la route et les règlements de circulation - tous les sites d'une même population auraient la même fréquence moyenne d'accidents à long terme. La seule différence entre la fréquence d'accidents observée à un site et cette fréquence moyenne d'accidents à long terme résulterait alors de variations aléatoires (**nature aléatoire des accidents**).

Étant donné les limites de données disponibles, on ne peut cependant considérer qu'un nombre limité de variables géométriques et de circulation lors de la création des populations de référence. Par exemple, une telle population pourra inclure toutes les intersections rurales à quatre branches avec un fort débit de circulation et des panneaux d'arrêt sur les approches secondaires, une autre population pourra être formée de toutes les intersections ayant des caractéristiques similaires mais un plus faible débit de circulation, etc. Pour être en mesure de déterminer les populations de référence, il faut avoir des connaissances approfondies tant sur les techniques de sécurité routière que sur les caractéristiques du réseau et le contenu des bases de données disponibles.

2. calculer les différences de sécurité entre le site et la population de référence, ce qui correspond à son potentiel d'amélioration (P.A.).

Si le critère d'identification choisi est la fréquence d'accidents (**section 5.3.1**), on suppose que le P.A. correspond à la réduction du nombre d'accidents pouvant être attendue des améliorations apportées à l'infrastructure routière. Les sites ayant le P.A. le plus élevé devraient être les premiers à faire l'objet d'un **diagnostic de sécurité**.

$$\text{où : } P.A._j = f_j - f_{pr} \quad [\text{Eq. 5-1}]$$

$P.A._j$ = potentiel d'amélioration au site j
 f_j = fréquence d'accidents au site j
 f_{pr} = fréquence moyenne d'accidents (population de référence)

¹ De façon souhaitable, cet objectif devrait être élargi au delà des limites du génie routier, pour inclure les sites où la fréquence d'accidents peut être réduite de façon efficace par des actions autres que celles touchant l'infrastructure.

D'autres critères que celui de la fréquence d'accidents sont souvent utilisés pour identifier les endroits problématiques d'un réseau (*section 5.3.1*). La forme générique de l'équation 5-1 qui peut en rendre compte est la suivante :

$$P.A._j = C_{i_j} - C_{i_{pr}} \quad [Eq. 5-2]$$

où :

- C_{i_j} = valeur du critère d'identification au site j
- $C_{i_{pr}}$ = valeur moyenne du critère d'identification (population de référence)

Plus de détails et un exemple numérique sont inclus à l'*annexe 5-1 - Population de référence*.

Noeuds et liens

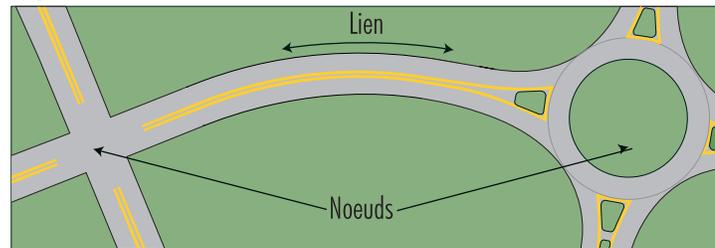
Les points noirs se retrouvent souvent aux **noeuds** d'un réseau routier, c.-à-d. aux points d'intersection de deux ou plusieurs routes. Pour les fins d'identification, il est recommandé de distinguer les différents types de noeuds d'un réseau routier, puisqu'ils ont des performances différentes en termes de sécurité, comme par exemples :

- intersections conventionnelles (en croix, en T, X, Y, à branches multiples);
- carrefours giratoires;
- échangeurs.

Les segments de route situés entre deux noeuds sont appelés des liens. Des concentrations d'accidents peuvent aussi survenir sur de courts liens, notamment aux courbes raides et aux pentes abruptes.

Comme les densités d'accidents diffèrent entre noeuds et liens, il importe de distinguer ces deux types de sites au moment de l'identification. On risquerait autrement de classer certains liens comme étant non-sécuritaires simplement parce qu'ils comprennent un ou plusieurs noeuds.

Figure 5-4 Noeuds et liens

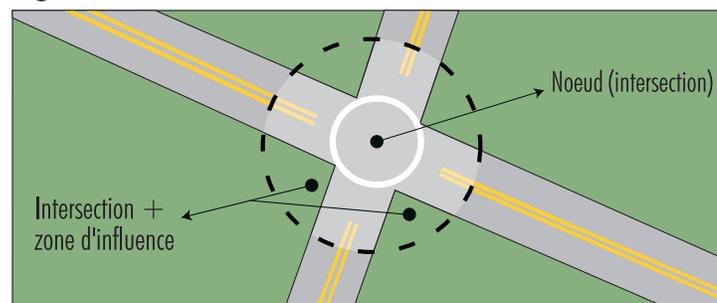


Noeuds

Pour les fins de l'identification, la dimension d'un noeud doit s'étendre au-delà de son emplacement physique et inclure une zone d'influence qui peut contenir certains accidents associés à la présence du noeud (figure 5-5). L'exemple classique est celui d'une collision arrière attribuable à la présence d'une file de véhicules arrêtés à une certaine distance d'une intersection.

La dimension de la zone d'influence peut varier de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres, suivant les caractéristiques du site et de son environnement. Plus la zone d'influence est grande, plus la probabilité de ne pas tenir compte d'accidents pertinents diminue alors qu'augmente celle d'inclure des événements non reliés (et inversement) : Il importe donc de vérifier la pertinence des accidents survenus dans cette zone lors du diagnostic.

Figure 5-5 Zone d'influence d'un noeud



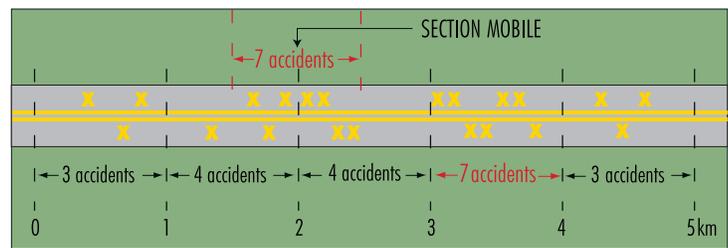
Pour éviter toute distorsion au moment de l'identification, on verra à utiliser une zone d'influence de dimension constante pour tous les noeuds similaires situés dans des environnements routiers semblables.

Liens

Il faut aussi utiliser une longueur de lien constante pour détecter les sections du réseau présentant des concentrations anormales d'accidents. Si la longueur sélectionnée est excessive, certaines sections de routes non sécuritaires pourront ne pas être détectées car les concentrations d'accidents se verront diluées dans les alentours. À l'inverse, si la longueur sélectionnée est trop courte, la plupart des liens auront 0 ou 1 accident, ce qui est peu utile comme outil d'identification. Des longueurs de liens entre 500 m et 1 000 m sont généralement adéquates.

L'identification peut s'effectuer à l'aide de *sections fixes* ou de *sections mobiles*. L'utilisation de sections fixes est simple : on détermine un point d'origine fixe et on subdivise la route en n sections successives de longueur constante à partir de ce point. Certaines concentrations d'accidents situées aux limites de deux sections adjacentes peuvent cependant ne pas être détectées de cette façon. L'utilisation de sections mobiles - c.-à-d. section de longueur constante (par exemple 1 km) que l'on déplace le long d'une route par courts incréments (par exemple 100 m) - permet d'éviter ce problème. La figure 5-6 illustre l'utilité des sections mobiles. Supposons que le seuil de détection soit fixé à 7 accidents/km : les concentrations d'accidents entre les kilomètres 1,5 et 2,5 ne seront pas détectées par des sections fixes mais elles le seront à l'aide de sections mobiles. L'utilisation de sections mobiles est aujourd'hui facilitée avec l'informatisation des données d'accidents.

Figure 5-6 Comparaison – Sections fixes et mobiles



L'utilisation de sections mobiles - c.-à-d. section de longueur constante (par exemple 1 km) que l'on déplace le long d'une route par courts incréments (par exemple 100 m) - permet d'éviter ce problème. La figure 5-6 illustre l'utilité des sections mobiles. Supposons que le seuil de détection soit fixé à 7 accidents/km : les concentrations d'accidents entre les kilomètres 1,5 et 2,5 ne seront pas détectées par des sections fixes mais elles le seront à l'aide de sections mobiles. L'utilisation de sections mobiles est aujourd'hui facilitée avec l'informatisation des données d'accidents.

L'informatisation des données facilite aujourd'hui l'utilisation de sections mobiles et accroît les possibilités. On peut par exemple faire coïncider le début de chaque section de longueur constante avec l'emplacement précis de chaque accident dans la base de données. On s'assure ainsi d'une grande précision tout en minimisant les calculs inutiles. Hauer (2004) suggère de faire varier non seulement le point de départ de chaque section mais aussi leur longueur.

5.2.2 AUTRES CIBLES

Comme nous l'avons déjà mentionné, les sites identifiés comme étant problématiques ne sont pas nécessairement de dimension limitée. En fait, un programme plus complet d'interventions au niveau de l'infrastructure devrait permettre d'identifier différents types de situations problématiques. Les combinaisons possibles sont très nombreuses. Ainsi en France, le Service d'études techniques des routes et autoroutes (1992) distingue quatre types de cibles : points spécifiques (ou points noirs), traversées d'agglomérations, routes et réseaux. En Grande-Bretagne, quatre stratégies d'intervention sont proposées : sites isolés (points noirs), actions de masse, actions au niveau de routes et actions au niveau de régions. Les objectifs de réduction d'accidents varient pour chacune de ces stratégies :

Tableau 5-1 Stratégies de réduction des accidents (Grande-Bretagne)

STRATÉGIE	DESCRIPTION	OBJECTIFS OPÉRATIONNELS
SITE ISOLÉ (points noirs)	Sites spécifiques où de nombreux accidents se sont produits au cours d'une période déterminée. Il peut s'agir d'une seule intersection, d'une zone d'au plus 400 m de diamètre ou d'un court tronçon de 300 à 500 m.	- réduction moyenne d'accidents de 33 % - rentabilité minimale de 200 % à chaque site dès la première année
ACTION DE MASSE	Les données d'accidents d'une partie ou de l'ensemble d'un réseau sont analysées pour détecter des sites où se sont produits des accidents pour lesquels il existe des solutions reconnues (p. ex. accidents dus à la chaussée glissante - surfacage antidérapant). La sélection de plusieurs sites pour traitement peut alors s'effectuer à partir de ceux ayant les plus hautes fréquences d'accidents de ce type.	- réduction moyenne d'accidents d'au moins 20 % - rentabilité minimale de 100 % dès la première année
ROUTE	On détermine la répartition des accidents sur les routes d'une certaine catégorie, dans le but d'identifier les tronçons où leur nombre est supérieur à la moyenne. Ce type d'exercice est généralement effectué pour des tronçons d'au plus 25 à 30 km de longueur. Les périodes considérées sont de 3 à 5 ans.	- réduction moyenne d'accidents de 25 % - rentabilité minimale de 100 % dès la première année
RÉGION	Les zones nécessitant un traitement prioritaire sont identifiées en examinant la répartition des accidents dans une partie ou l'ensemble d'une zone urbaine sur une période de 3 à 5 ans.	- réduction d'accidents de 30 % - rentabilité minimale de 50 % dès la première année.

Source : Royal Society for the Prevention of Accidents, 2002

5.3 IDENTIFICATION FONDÉE SUR LES ACCIDENTS

L'emphase est mise dans ce chapitre sur la description de méthodes d'identification qui sont basées sur une analyse des données d'accidents disponibles. Ce sont donc des méthodes dites « réactives », puisqu'il faut nécessairement qu'il se soit produit des accidents et que ces derniers aient été rapportés pour qu'une action puisse être initiée.

Le début de la **section 5.3.1** décrit des critères simples, qui sont utilisés depuis longtemps pour détecter les problèmes de sécurité routière : fréquence d'accidents, taux d'accidents et gravité des accidents. Des critères d'identification plus sophistiqués sont ensuite présentés : modèles de prédiction des accidents (ou fonctions de performance de sécurité) et méthodes empiriques bayésiennes. Tous ces critères, répétons-le, peuvent permettre de détecter non seulement des points noirs, mais aussi des sites de plus grande dimension.

La **section 5.3.2** explique ensuite comment les données d'accidents peuvent aussi servir à identifier des sites qui méritent un examen plus approfondi parce qu'on y observe des concentrations anormales de certains types d'accidents particuliers.

La version cédérom du présent manuel comporte des utilitaires de calcul qui facilitent l'utilisation des différents critères d'identification décrits dans cette section. Ces utilitaires sont repérables à l'aide de l'icône suivant  et on peut y accéder en cliquant directement avec le bouton de gauche de la souris sur le nom de l'utilitaire de calcul.

L'**annexe 5-1** traite de différents aspects méthodologiques pouvant avoir une influence significative sur les résultats d'une identification basée sur les accidents (**population de référence, nature aléatoire des accidents, période d'accidents, biais de sélection et régression vers la moyenne**).

5.3.1 IDENTIFICATION – DONNÉES SUR TOUS LES ACCIDENTS

Une simple localisation de chacun des accidents rapportés sur une carte routière permet de repérer les lieux de concentration. On peut alors additionner le nombre d'accidents à chacun de ces sites et les ordonnancer en ordre décroissant. Ce critère (**fréquence d'accidents**), qui constitue la plus ancienne façon d'identifier les sites problématiques, demeure encore largement utilisé aujourd'hui. Il minimise les besoins de données et de calculs. On lui reconnaît cependant un certain nombre de lacunes - voir **Fréquence d'accidents – principales lacunes** - qui ont conduit au développement de plusieurs autres critères qui sont aussi décrits dans cette section.

Exemple

La présentation de ces différents critères d'identification est assortie d'un exemple. Les caractéristiques des sites considérés sont les suivantes :

- 55 sections de routes rurales;
- sections de longueur fixe de 500 m;
- période couverte : 3 ans;
- nombre d'accidents par section : de 0 à 14;
- débit journalier moyen annuel (DJMA) sur chaque section : entre 800 et 8 500 véh./j.

Les détails des données et résultats sont présentés à l'**annexe 5-2**.

5.3.1 Identification - Données sur tous les accidents

Fréquence d'accidents
Taux d'accidents
Taux d'accidents critique
Indice équivalent de dommages matériels seulement
Indice de gravité relative
Critères combinés
Modèles de prédiction d'accidents
Méthodes empiriques Bayésiennes

FRÉQUENCE D'ACCIDENTS

Description

La fréquence d'accidents est le plus simple des critères d'identification : on localise chacun des accidents à son lieu d'occurrence, on additionne le nombre total d'accidents rapportés à chaque site et on les classe par ordre décroissant de fréquence.

Une analyse détaillée de sécurité est justifiée à tous les sites où la fréquence d'accidents dépasse le seuil d'investigation (I_T) choisi. Ce seuil peut être déterminé de façon arbitraire, p. ex. 5 accidents ou plus par an, mais il devrait de préférence prendre en compte le budget disponible.

Procédure – Fréquence d'accidents	Exemple (voir <i>annexe 5-2</i>)
1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.	
2. Définir les différentes populations de référence.	
3. Pour chaque population de référence : <ul style="list-style-type: none"> calculer la fréquence d'accidents à chaque site; calculer la fréquence d'accidents moyenne de la population de référence; $f_{pr} = \frac{\sum f_j}{n} \quad [\text{Eq. 5-3}]$ <p>où :</p> <ul style="list-style-type: none"> f_{pr} = fréquence moyenne d'accidents f_j = fréquence d'accidents au site j d'une population de référence n = nombre de sites <ul style="list-style-type: none"> déterminer la fréquence minimum d'accidents qui justifie une analyse de sécurité détaillée (I_T). 	<p>Route rurale à 2 voies</p> <p>Les fréquences d'accidents varient de 0 à 14 accidents. (Colonne 3 du tableau 5-A4)</p> $f_{pr} = 258 \text{ accidents} / 55 \text{ sites}$ $= 4,69 \text{ accidents} / \text{site}$ $I_T = 2 * f_{pr}$ $= 9,38 \text{ (9 accidents)}$ <p>Les sections 1, 10, 12, 45, 48 et 52 sont détectées.</p>

Avantages

- simplicité du critère;
- les sites avec le plus d'accidents sont nécessairement détectés.

Inconvénients (voir encadré ci-dessous)

- biais en faveur de sites à forts débits de circulation;
- ne tient pas compte de la gravité des accidents;
- ne tient pas compte de la nature aléatoire des accidents.

Fréquence d'accidents - principales lacunes

Biais en faveur des sites à forts débits de circulation

La fréquence d'accidents augmente généralement avec la circulation. La relation entre ces deux variables est suffisamment robuste pour avoir conduit au développement d'une multitude de modèles statistiques qui estiment le nombre d'accidents en fonctions de variables de circulation uniquement². L'utilisation du critère de fréquence d'accidents pour détecter les sites dangereux peut donc nuire à la détection des sites problématiques où le débit de circulation est faible. Plusieurs critères d'identification qui prennent en compte les débits ont été développés, le taux d'accidents étant de loin le plus souvent utilisé.

La fréquence et la gravité des accidents ne sont pas nécessairement liées

La gravité des blessures subies dans un accident varie en fonction de plusieurs facteurs, dont certains sont directement reliés aux caractéristiques de l'infrastructure : vitesse d'impact, type de collision, conditions des abords de route, etc. Ainsi par exemple, les blessures sont en général moins graves pour les collisions arrière en milieu urbain que pour les collisions frontales en milieu rural. Le niveau moyen de traumatisme subi dans un accident varie donc selon le type d'accident et le type de site considéré. Des critères d'identification ont été développés qui prennent en compte la gravité des blessures subies dans les accidents.

La fréquence d'accidents varie entre deux périodes d'observations

Mêmes si tous les facteurs contribuant aux accidents pouvaient être maintenus constants dans le temps, le nombre d'accidents à survenir à un même site pourrait varier de façon significative d'une année à l'autre. L'importance de ces variations est directement liée à la moyenne annuelle d'accidents à long terme du site : plus cette moyenne est faible, plus ces variations sont élevées. Cette situation, qui est attribuable à la nature aléatoire des accidents, introduit deux types de biais à l'étape d'identification : certains sites qui ne sont pas problématiques en termes de sécurité sont perçus comme tels et inversement (*biais de sélection*). Certains critères d'identification permettent de réduire l'ampleur de ce problème.

² Le rapport entre accidents et circulation n'est pas nécessairement linéaire cependant (p. ex. Satterthwaite, 1981). La forme fonctionnelle « Accidents = a(débit de circulation)^b » est souvent utilisée pour les liens.

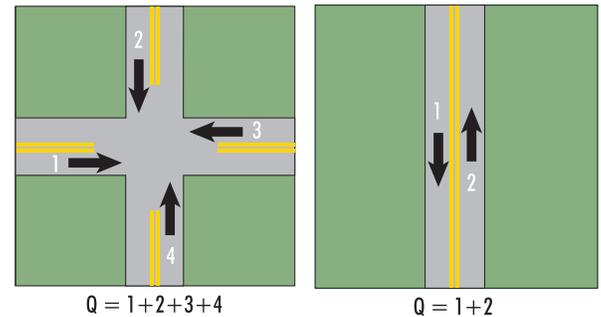
TAUX D'ACCIDENTS

Description

Par définition, un taux d'accidents est un ratio entre une fréquence d'accidents et une mesure d'exposition. Pour les études de génie routier, l'unité d'exposition la plus souvent utilisée est le débit de circulation (figure 5-7) :

- aux intersections (*noeuds*), le débit considéré est le nombre total de véhicules entrants³;
- sur les liens, il s'agit du total des véhicules circulant dans les deux sens. Il faut de plus tenir compte de la longueur du lien à l'étude.

Figure 5-7 Débits considérés – Taux d'accidents



Procédure – Taux d'accidents

1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.
2. Définir les différentes populations de référence.
3. Pour chaque population de référence :
 - calculer le taux d'accidents à chaque site :

$$T_j = \frac{f_j \times 10^6}{365,25 \times PL_j Q_j} \quad [\text{Eq. 5-4}]$$

où :

- T_j = taux d'accidents au site j (acc./Mvéh-km)
- f_j = fréquence d'accidents (au site j)
- P = période d'analyse (années)
- L_j = longueur de la section j (km)
- Q_j = débit journalier moyen annuel au site j (DJMA)

- calculer le taux d'accidents moyen pour la population de référence :

$$T_{pr} = \frac{\sum f_j \times 10^6}{365,25 \times P \times \sum L_j \times Q_w} \quad [\text{Eq. 5-5}]$$

où :

- T_{pr} = taux d'accidents moyen (acc./Mvéh-km)
- f_j = fréquence d'accidents (au site j)
- P = période d'analyse (années)
- L_j = longueur de la section j (km)
- Q_w = débit journalier annuel moyen pondéré (DJMA)

$$Q_w = \frac{\sum (Q_j \times L_j)}{\sum L_j}$$

Q_j = DJMA du site j

- déterminer le taux d'accidents minimal qui justifie une analyse de sécurité détaillée (I_T).

Exemple (voir *annexe 5-2*)

Routes rurales à deux voies
Pour la section n° 1 :

$$T_1 = \frac{9 \times 10^6}{365,25 \times 3 \times 0,5 \times 6\,050} = 2,72 \text{ acc./Mvéh-km}$$

Colonne 4 du tableau 5-A4;
Taux d'accidents : 0 à 4,73 acc./Mvéh-km.

$$T_{pr} = \frac{258 \times 10^6}{365,25 \times 3 \times 27,5 \times 4\,406} = 1,94 \text{ acc./Mvéh-km}$$

$$I_T = 2 \times T_{pr} = 2 \times 1,94 = 3,88 \text{ acc./Mvéh-km}$$

Les sections 10, 33, 35 et 39 sont détectées.

Note : pour les intersections, ignorer le L_j ; les unités sont: acc./Mvéh.

[TAUX D'ACCIDENTS]

³ Même si le taux d'accidents est généralement calculé en utilisant la somme des débits entrants à l'intersection comme fonction de trafic, le produit des débits recensés sur les approches principales et secondaires, élevé à une puissance, est souvent plus représentatif du risque d'accident ($F1^a \times F2^b$). L'utilisation d'une telle fonction de trafic en remplacement de la valeur de Q dans l'équation 5-4 peut améliorer la précision des résultats.

Avantages

- tient compte de l'exposition au risque;
- critère d'identification le plus souvent utilisé, ce qui facilite les comparaisons.

Inconvénients

- le débit de la circulation à chaque site doit être connu;
- ne tient pas compte de la nature aléatoire des accidents;
- biais en faveur de sites à faible circulation (une variation aléatoire de quelques accidents par période à de tels sites modifie la valeur du taux d'accidents de façon considérable);
- ne tient pas compte de la gravité des accidents;
- suppose une relation linéaire entre débit de circulation et fréquence d'accidents, ce qui peut être une source d'erreur (*Taux d'accidents – hypothèse de linéarité*).

TAUX D'ACCIDENTS CRITIQUE

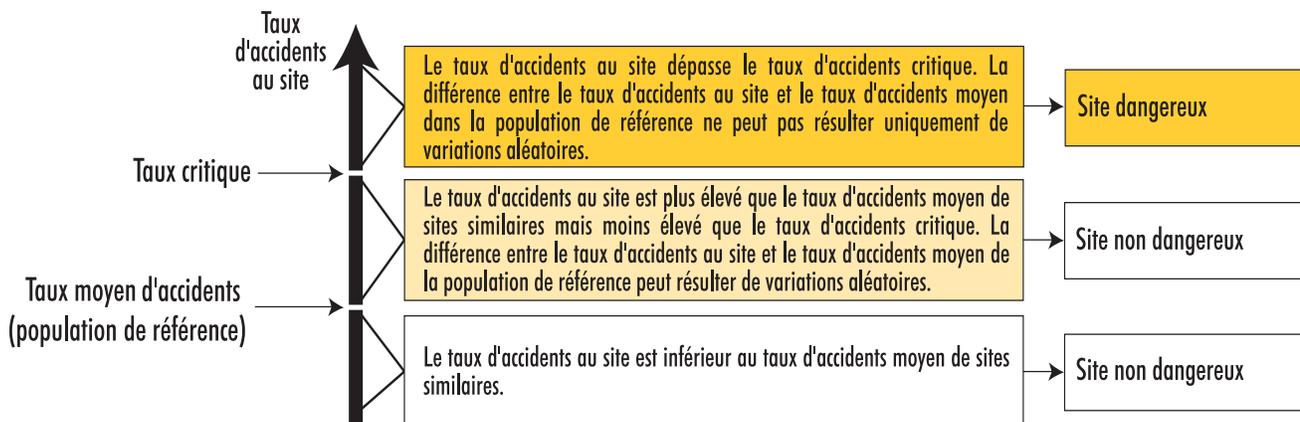
Description

Ce critère, qui fait appel à des méthodes originellement développées pour effectuer des contrôles de qualité dans l'industrie (Norden et al., 1956), compare le taux d'accidents à un site avec le taux d'accidents moyen observé dans un groupe de sites ayant des caractéristiques similaires (*population de référence*).

Comme pour les autres critères d'identification présentés dans cette section, l'hypothèse de base est que les sites ayant des caractéristiques semblables devraient avoir des *niveaux de sécurité* semblables. De par la *nature aléatoire des accidents*, il est cependant possible que le taux d'accident calculé à un site durant une période donnée soit supérieur au taux moyen de sa population de référence sans qu'il ne soit pour autant problématique en termes de sécurité. Jusqu'à un point où la différence entre le site et la population de référence devient telle que les variations aléatoires ne peuvent plus expliquer cette situation. Le site est alors considéré problématique.

La valeur minimale de taux d'accidents à partir de laquelle un site est considéré problématique correspond au taux critique. Ce taux augmente en fonction du niveau de confiance statistique choisi.

Figure 5-8 Taux d'accidents moyen et taux d'accidents critique



Procédure – Taux d'accidents critique	Exemple (voir <i>annexe 5-2</i>)
1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.	
2. Définir les différentes populations de référence.	
<p>3. Pour chaque population de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> • calculer le taux d'accidents à chaque site (équation 5-4) • calculer le taux d'accidents moyen pour la population de référence (équation 5-5) • calculer le taux critique à chaque site : $T_{c_j} = T_{p_r} + K \sqrt{\frac{T_{p_r} \times 10^6}{365,25 \times PL_j Q_j} + \frac{1 \times 10^6}{730,5 \times PL_j Q_j}} \quad [\text{Eq. 5-6}]$ <p>où :</p> <ul style="list-style-type: none"> T_{c_j} = taux d'accidents critique au site j (acc./Mvéh-km) T_{p_r} = taux d'accidents moyen aux sites semblables (acc./Mvéh-km) K = constante statistique <ul style="list-style-type: none"> 1,036 pour niveau de confiance de 85 % 1,282 pour niveau de confiance de 90 % 1,645 pour niveau de confiance de 95 % 2,323 pour niveau de confiance de 99 % P = période d'analyse (années) L_j = longueur de la section j (km) Q_j = DJMA au site j (débit journalier moyen annuel) <ul style="list-style-type: none"> • comparer le taux d'accidents et le taux d'accidents critique à chaque site. Une analyse de sécurité détaillée est justifiée lorsque le taux d'accidents est supérieur au taux d'accidents critique. 	<p>Routes rurales à deux voies</p> <p>Tableau 5-A4, colonne 4</p> <p>Pour la section 1: $T_1 = 2,72$ acc./Mvéh-km $T_{p_r} = 1,94$ acc./Mvéh-km</p> <p>Pour la section n° 1, avec niveau de confiance de 85 %</p> $T_{c_1} = 1,94 + 1,036 \sqrt{\frac{1,94 \times 10^6}{365,25 \times 3 \times 0,5 \times 6050} + \frac{1 \times 10^6}{730,5 \times 3 \times 0,5 \times 6050}}$ <p>$T_{c_1} = 2,89$ acc./Mvéh-km</p> <p>Tableau 5-A4, colonne 5</p> <p>Le taux d'accidents critique varie de 2,72 à 5,27 acc./Mvéh-km</p> <p>Les sections 10, 35 et 45 sont détectées (niveau de confiance de 85 %)</p>
Note : pour les intersections, ignorer le L; les unités sont: acc./Mvéh.	

[TAUX D'ACCIDENTS CRITIQUE

Avantages

- tient compte de la nature aléatoire des accidents;
- tient compte de l'exposition au risque.

Inconvénients

- complexité de la méthode;
- ne tient pas compte de la gravité des accidents;
- suppose une relation linéaire entre débit de circulation et fréquence d'accidents, ce qui peut être une source d'erreur (*Taux d'accident critique – hypothèse de linéarité*).

INDICE ÉQUIVALENT DE DOMMAGES MATÉRIELS SEULEMENT (IEDMS)

Description

L'IEDMS attache une plus grande importance aux traumatismes plus sévères en attribuant à chaque accident une pondération qui est une fonction des blessures les plus graves subies par l'une des victimes. Par exemple, un accident dans lequel deux personnes sont des « blessés légers » et une troisième personne subit des blessures graves, est classé comme accident grave. Un autre accident avec deux blessés graves reçoit la même cote de gravité. Divers facteurs de pondération ont été proposés. Agent (1973), par exemple, a suggéré les valeurs suivantes :

- accident avec dommages matériels seulement (DMS) : 1;
- accident avec blessures légères : 3,5;
- accident avec blessures graves ou décès : 9,5.

Procédure – IEDMS	Exemple (voir <i>annexe 5-2</i>)
1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.	
2. Définir les différentes populations de référence.	
3. Choisir les facteurs de pondération pour chaque catégorie de victime	Les facteurs de pondération proposés par Agent (1973) sont utilisés dans cet exemple : 1,0 dommages matériels seulement (DMS) 3,5 blessures légères 9,5 blessures graves ou décès
4. Pour chaque population de référence : • calculer l'IEDMS et l'IEDMS moyen ($\overline{\text{IEDMS}}$) à chaque site : $\text{IEDMS}_j = \sum w_i \times f_{ij} \quad [\text{Eq.5-7}]$ où : IEDMS_j = indice équivalent de dommages matériels seulement du site j w_i = facteur de pondération pour un accident de gravité i f_i = fréquence d'accidents de gravité i (site j) $\overline{\text{IEDMS}}_j = \text{IEDMS}_j / f_j \quad [\text{Eq.5-8}]$ où : $\overline{\text{IEDMS}}_j$ = IEDMS moyen du site j f_j = fréquence totale d'accidents au site j • calculer l'IEDMS moyen de la population de référence ($\overline{\text{IEDMS}}_{p,r}$) : $\overline{\text{IEDMS}}_{p,r} = \frac{\sum \sum w_i \times f_{ij}}{\sum f_j} \quad [\text{Eq.5-9}]$ • déterminer la valeur $\overline{\text{IEDMS}}$ minimum qui justifie une analyse de sécurité détaillée (I_T).	Routes rurales à deux voies Pour la section n° 1 : $\text{IEDMS}_1 = 2 \times 9,5 + 3 \times 3,5 + 4 \times 1 = 33,5$ Tableau 5-A4, colonne 6 IEDMS varie de 0 à 33,5 $\overline{\text{IEDMS}}_1 = 33,5 / 9 = 3,72$ Tableau 5-A4, colonne 7 $\overline{\text{IEDMS}}$ varie de 0 à 4,67 $\overline{\text{IEDMS}}_{p,r} = 2,16$ $I_T = 2 \times \overline{\text{IEDMS}}_{p,r}$ $I_T = 2 \times 2,16 = 4,32$ Les sections 33 et 49 sont détectées.

[IEDMS 

Avantages

- tient compte de la gravité des accidents;
- simplicité du critère.

Inconvénients

- ne tient pas compte de l'exposition au risque;
- ne tient pas compte de la nature aléatoire des accidents;
- biais en faveur des sites à vitesses élevées (milieu rural).

Les facteurs de pondération attribués à chaque classe de gravité d'accident sont généralement bien en-deçà du coût réel de ces accidents. Les valeurs recommandées par Agent (1973) sont encore souvent utilisées en Amérique du Nord (9,5 pour accident avec blessures graves ou décès, 3,5 pour accidents avec blessures légères et 1 pour accidents DMS). Avec de telles valeurs, une attention plus grande – mais non disproportionnée – est accordée aux accidents les plus graves.

L'emploi de facteurs de pondération correspondant au coût réel des accidents pourrait entraîner une sous utilisation des accidents les moins graves, car il faudrait alors plusieurs centaines d'accidents DMS pour égaler un seul accident grave (p. ex. tableau 5-2). Pourtant, l'occurrence répétée d'accidents à un même site est un indicateur de lacunes de l'infrastructure qui ne devrait pas être négligé, alors que l'occurrence isolée d'un seul accident grave peut fort bien être attribuable à des facteurs qui ne sont pas reliés à l'infrastructure.

Tableau 5-2 Exemple – Facteurs de pondération correspondant au coût des accidents

	COÛT UNITAIRE DES ACCIDENTS (US \$)	FACTEUR DE PONDÉRATION
MORTEl	2 600 000	1
GRAVE	180 000	14
LÉGER	19 000	37
DMS	2 000	1 300

Source : Federal Highway Administration, 1994

INDICE DE GRAVITÉ RELATIVE (IGR)

Description

Ce critère reconnaît que :

1) la gravité des blessures subies lors d'un accident dépend de plusieurs facteurs : vitesse d'impact, point d'impact sur le véhicule, type de véhicule, âge et état de santé des occupants du véhicule, équipements de protection, etc. Deux accidents du même type se produisant à un même site peuvent donc causer des niveaux de traumatismes forts différents.

2) le niveau de traumatisme moyen subi dans un grand nombre d'accidents du même type et survenus dans des environnements routiers similaires est un indicateur plus stable que le niveau de traumatisme d'un accident particulier.

L'indice de gravité relative (IGR) s'appuie sur ces constats et attribue à chaque accident survenu à un site donné, un poids qui est fonction de la gravité moyenne de plusieurs accidents survenus dans des circonstances semblables (p. ex. tableau 5-3).

Tableau 5-3 Coûts des accidents en Australie

	AU \$	
	Urbain	Rural
Un seul véhicule		
piéton, traversant la route	166 300	183 800
obstruction permanente	162 400	163 400
heurt d'un animal	102 300	79 500
sortie de route en tangente	119 900	146 100
sortie de route en tangente, heurt d'un objet	177 500	206 600
perte de maîtrise, en tangente	98 100	115 700
sortie de route en courbe	146 900	175 900
sortie de route en courbe, heurt d'un objet	191 700	219 700
perte de maîtrise en courbe	120 100	112 100
Deux véhicules		
intersection, approches adjacentes	124 000	173 200
collision frontale	240 300	341 600
véhicule tournant sens opposés	132 700	168 600
collision arrière	64 200	109 700
changement de voie	88 500	132 800
voies parallèles, en tournant	79 900	104 600
virage en U	124 600	135 600
véhicule sortant d'une entrée privée	93 200	129 100
dépassement d'un véhicule, même sens	97 000	138 000
heurt d'un véhicule stationné	112 500	202 700
collision avec un train	384 400	559 100

Source : Andreassen, 2001 (reproduit avec permission)

Procédure – IGR	Exemple (voir <i>annexe 5-2</i>)
1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.	
2. Définir les différentes populations de référence.	
<p>3. Pour chaque population de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> calculer le coût moyen de chaque type d'accident dans la population de référence; calculer l'IGR et l'IGR moyen (\overline{IGR}) de chaque site; $IGR_j = \sum f_{ij} \times C_i \quad [\text{Eq. 5-10}]$ <p>où :</p> <p>IGR_j = indice de gravité relative au site j f_{ij} = fréquence des accidents de type i au site j C_i = coût moyen d'un accident de type i</p> $\overline{IGR}_j = IGR_j / f_j \quad [\text{Eq. 5-11}]$ <p>où :</p> <p>f_j = fréquence totale d'accidents au site j</p> <ul style="list-style-type: none"> calculer l'IGR moyen de la population (\overline{IGR}_{pr}); $\overline{IGR}_{pr} = \frac{\sum \sum (C_i \times f_{ij})}{\sum f_j} \quad [\text{Eq. 5-12}]$ <ul style="list-style-type: none"> déterminer la valeur minimale de l'IGR qui justifie une analyse de sécurité détaillée (I_T). 	<p>Routes rurales à 2 voies</p> <p>Une grille de coûts doit être établie à partir des données de l'ensemble d'un pays. Les valeurs du tableau 5-3 sont utilisées dans cet exemple.</p> <p>Pour la section n° 1 :</p> $IGR_1 = (2 \times 104\,600 \$) + (2 \times 173\,200 \$) + (1 \times 175\,900 \$) + (2 \times 109\,700 \$) + (2 \times 341\,600 \$) = 1\,634\,100 \$$ $\overline{IGR}_1 = 1\,634\,100 \$ / 9 = 181\,567 \$$ <p>Colonnes 8 et 9 du tableau 5-A4</p> <p>IGR de 0 \$ à 2 707 500 \$ \overline{IGR} de 0 \$ à 237 200 \$</p> $\overline{IGR}_{pr} = 162\,817 \$$ $I_T = 2 \times \overline{IGR}_{pr}$ $I_T = 2 \times 162\,817 \$ = 325\,634 \$$ <p>Aucune section n'est détectée par ce critère. (les sections 33, 42, 13 et 25 ont les valeurs de \overline{IGR} les plus élevées).</p>

Avantages

- tient compte de la gravité des accidents;
- tient compte de l'influence de facteurs exogènes ayant un impact sur la gravité des accidents.

Inconvénients

- le développement des grilles de coûts peut être complexe;
- ne tient pas compte de l'exposition au risque;
- ne tient pas compte de la nature aléatoire des accidents;
- biais en faveur des sites à vitesses élevées (routes rurales).

CRITÈRES COMBINÉS

Description

Différentes combinaisons de critères peuvent être utilisées afin de réduire les biais pouvant résulter de l'utilisation de critères individuels (tableau 5-4).

Trois des nombreuses variantes possibles sont décrites ici, à des fins d'illustration :

- seuils combinés;
- seuil individuel;
- seuil individuel avec valeurs minimales.

Tableau 5-4 Biais typiques de critères individuels

CRITÈRE	BIAIS EN FAVEUR DE
FRÉQUENCE D'ACCIDENTS	Sites à fort débits
TAUX D'ACCIDENTS	Sites à faibles débits
INDICE DE GRAVITÉ	Sites à vitesses élevées

Seuils combinés

- des seuils d'investigation sont établis pour plus d'un critère; par exemple, une fréquence d'accidents de 5 accidents ou plus par période et un taux minimal de 3,0 acc./Mvéh-km.
- tous les seuils doivent être atteints pour qu'un site soit détecté.

Seuils individuels

- des seuils d'investigation sont établis pour plus d'un critère; par exemple, une fréquence d'accidents de 5 accidents ou plus par période et un taux minimal de 3,0 acc./Mvéh-km.
- un site est détecté dès qu'un seuil d'investigation est atteint, peu importe la valeur des autres critères.

Seuil individuel avec valeurs minimales de critères

- les sites sont classés en ordre décroissant d'un des critères utilisés et des seuils d'investigation minimums sont établis pour les autres critères considérés; ce pourrait être par exemple, le classement des sites en ordre décroissant de taux d'accidents, en ne conservant que ceux ayant au minimum trois accidents par période.

La procédure suivante illustre l'utilisation de la fréquence d'accidents et du taux d'accidents avec des seuils combinés.

Procédure – Fréquence et taux combinés	Exemple (voir <i>annexe 5-2</i>)
1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.	
2. Définir les différentes populations de référence	
3. Pour chaque population de référence : <ul style="list-style-type: none"> • calculer la fréquence d'accidents et le taux d'accidents à chaque site (équation 5-4); • calculer la fréquence d'accidents moyenne et le taux d'accidents moyen dans la population de référence (équations 5-3 et 5-5); • déterminer la fréquence d'accidents minimale et le taux d'accidents minimal qui justifient une analyse de sécurité détaillée; • classer les sites en fonction de ces critères de détection. 	Routes rurales à deux voies Tableau 5-A4 , colonnes 3 et 4 $f_{pr} = 4,69$ accidents par site $T_{pr} = 1,94$ acc./Mvéh-km Seuils minimums d'analyse : $2 \times f_{pr}$ et $2 \times T_{pr}$ $I_T = 2 \times f_{pr} = 2 \times 4,69 = 9,38$ accidents $I_T = 2 \times T_{pr} = 2 \times 1,94 = 3,88$ acc./Mvéh-km Selon cette combinaison de critères, la section 10 est détectée.

MODÈLES DE PRÉDICTION D'ACCIDENTS

Tel qu'expliqué précédemment, les méthodes d'identification qui sont décrites dans ce chapitre se basent sur une comparaison du niveau de sécurité d'un site donné avec le niveau de sécurité moyen d'une population de référence ayant des caractéristiques similaires. Ainsi, lorsque le critère de fréquence d'accidents est utilisé, le potentiel d'amélioration (P.A) à un site j est⁴ :

$$P.A._j = f_j - f_{pr}$$

où :

$P.A._j$ = potentiel d'amélioration au site j

f_j = fréquence d'accidents au j

f_{pr} = fréquence moyenne d'accidents dans la population de référence

En pratique, il peut être impossible d'estimer f_{pr} avec une précision adéquate si on ne dispose pas d'un nombre suffisant de sites ayant des caractéristiques semblables (**population de référence**). Dans un tel cas, on peut alors faire appel à des modèles statistiques estimant le nombre d'accidents à partir de variables indépendantes. La forme suivante de modèle est souvent utilisée :

$$\text{Accidents} = a(\text{fonction circulation})^b \quad [\text{Eq. 5-13}]$$

Avec cette forme simple, l'effet qu'ont les caractéristiques géométriques de la route sur les accidents est pris en compte en créant une population de référence pour chaque groupe de sites ayant des caractéristiques géométriques semblables et en développant un modèle de prédiction d'accidents pour chacune de ces populations. Un modèle peut ainsi être développé pour les intersections rurales en croix, un autre pour celles en T, etc.

On pourrait alternativement évaluer l'effet des principales caractéristiques géométriques de la route en développant des modèles plus complexes qui incluent non seulement les fonctions de trafic (comme dans l'équation 5-13), mais aussi des éléments géométriques. Un grand nombre de modèles distincts de prédiction d'accidents (aussi appelés « *fonctions de performance de sécurité* ») ont ainsi été proposés. Les détails méthodologiques reliés au développement de ces modèles sont décrits dans des ouvrages spécialisés (p. ex. Maycock et Hall, 1984; Hauer, 1997; Hauer, 2004).

De tels modèles de prédiction peuvent servir à calculer le second terme de l'équation 5-1, qui devient alors :

$$P.A._j = f_j - f_{pj} \quad [\text{Eq. 5-14}]$$

où :

f_{pj} = fréquence d'accidents estimée au site j

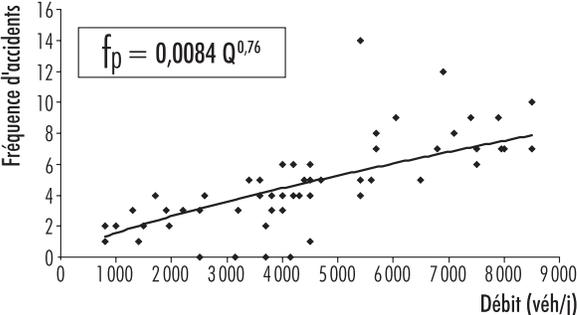
Avantage

- meilleure estimation du potentiel d'amélioration.

Inconvénients

- complexité relative de la méthode;
- ne tient pas compte de la nature aléatoire des accidents.

⁴ L'équation 5-1 est répétée ici pour faciliter la lecture.

Procédure – Modèles de prédiction d'accidents	Exemple (voir <i>annexe 5-2</i>)
1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.	
2. Définir les différentes populations de référence.	
<p>3. Pour chaque population de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> déterminer la fréquence d'accidents et le débit de circulation à chaque site; développer le modèle de prédiction d'accidents pour la population de référence; <ul style="list-style-type: none"> calculer la fréquence d'accidents estimée à chaque site à l'aide du modèle de prédiction d'accidents (f_p); calculer le potentiel d'amélioration (P.A.) à chaque site; $P.A._j = f_j - f_{pj}$ classer les sites en fonction de leur potentiel d'amélioration. 	<p>Routes rurales à deux voies</p> <p>Tableau 5-A4, colonnes 2 et 3</p> <p>Le modèle ci-dessous a été développé à partir des 55 sections de l'exemple :</p> $f_p = 0,0084 Q^{0,76}$ <p>où :</p> <p>f_p = fréquence d'accidents estimée/3 ans Q = débit journalier moyen annuel (DJMA)</p>  <p>Pour la section n° 1 :</p> $f_{p1} = 0,0084 \times 6\ 050^{0,76} = 6,07 \text{ acc./3 ans}$ <p>Tableau 5-A4 , colonne 10 f_p varie de 1,31 à 7,84 acc./3 ans</p> <p>Pour la section n° 1 :</p> $P.A._1 = 9 - 6,07 = 2,93 \text{ acc./3 ans}$ <p>Tableau 5-A4, colonne 11 P.A. varie de -4,56 à 8,43 acc./3 ans</p> <p>Les sections 10, 45, 1, 36 et 52 ont les potentiels d'amélioration les plus élevés.</p>

MÉTHODES EMPIRIQUES BAYESIENNES

Jusqu'ici, le premier terme de l'équation 5-1 ou 5-2 a été calculé sur la base de la fréquence d'accidents rapportés à un site donné durant une période de temps relativement courte (*période d'accidents*). Tel que mentionné précédemment, cette valeur est susceptible de subir des variations aléatoires importantes, surtout lorsque la fréquence moyenne d'accidents est faible (*nature aléatoire des accidents*).

Pour diminuer l'ampleur de ce problème qui peut introduire des biais importants à l'étape de l'identification des problèmes (*biais de sélection*), certains auteurs ont proposé de faire appel aux méthodes empiriques bayésiennes (EB). Ces méthodes sont basées sur un concept qui est quelque peu similaire à celui de potentiel d'amélioration, à savoir que le niveau de sécurité d'un site est influencé par ses caractéristiques. C'est dire que la connaissance du niveau de sécurité moyen à des sites ayant des caractéristiques semblables à celles du site étudié, fournit certaines indications quant à son niveau de sécurité.

Les méthodes EB permettent de combiner l'historique d'accidents à un site donné avec celui de plusieurs sites ayant des caractéristiques similaires (*population de référence*) de manière à obtenir une fréquence d'accidents ajustée (f_{EB}). Cette fréquence est vue comme une meilleure approximation de la fréquence moyenne d'accidents à long terme, valeur sur laquelle devraient être basées les décisions d'intervention⁵. Initialement, la méthode des moments a été proposée pour effectuer cette combinaison d'informations mais les méthodes statistiques multivariées sont maintenant reconnues comme étant supérieures à cet effet. Les principes de la méthode des moments sont néanmoins décrits dans les paragraphes suivants, car ils s'appuient sur l'utilisation de deux statistiques simples - moyenne et variance de la population de référence - ce qui facilite la compréhension des principes de calcul.

EB - Méthode des moments

Pour l'utiliser, il faut au préalable calculer la *fréquence moyenne d'accidents* de la population ainsi que sa *variance*. Ces deux statistiques sont alors utilisées pour ajuster la fréquence d'accidents au site étudié :

$$f_{EBj} = f_j + \frac{f_{pr}}{s^2}(f_{pr} - f_j) \quad [\text{Eq. 5-15}]$$

où :

f_{EBj} = fréquence d'accidents ajustée EB au site j

f_j = fréquence d'accidents au site j

f_{pr} = fréquence moyenne d'accidents de la population de référence = $\frac{\sum f_j}{n}$

n = nombre de sites (population de référence)

s^2 = variance d'accidents (population de référence) = $\frac{\sum (f_j - f_{pr})^2}{n-1}$

La fréquence d'accidents ajustée EB se compose donc de deux termes :

f_j = fréquence d'accidents observée au site pour la période considérée (estimateur classique);

$\frac{f_{pr}}{s^2}(f_{pr} - f_j)$ = facteur de correction dont l'importance varie en fonction de l'homogénéité de la population de référence. La valeur de s^2 décroît à mesure que l'homogénéité augmente, ce qui accroît l'importance de la correction.

EB - Méthode de régression

La principale difficulté associée à l'utilisation des méthodes empiriques bayésiennes est liée à la détermination de populations de référence qui soient homogènes (Elvik, 1988). Pour pallier à cette difficulté, Hauer suggère de faire usage de techniques de régression multivariées pour développer des modèles de prédiction d'accidents (ou fonctions de performance de sécurité) qui servent de populations de référence. Les détails sont décrits dans plusieurs articles récents de ce chercheur (Hauer, 1992, 2002, 2004), mais les principes de base sont les suivants :

1. un modèle statistique multivarié (aussi appelé fonction de performance de sécurité), qui relie les fréquences d'accidents à un ensemble de variables indépendantes, doit au préalable être développé. Durant ce développement, le paramètre de sur-dispersion doit aussi être estimé. Ce modèle sert à calculer la fréquence d'accidents estimée au site étudié (f_{pj}).
2. La fréquence d'accidents ajustée (f_{EB}) se calcule en combinant cette fréquence d'accidents estimée (f_{pj}) et la fréquence d'accidents au site (f_j). Les poids relatifs attribués à f_{pj} et f_j sont déterminés par la valeur du facteur de pondération « w », tel qu'indiqué à l'équation 5-16.

$$f_{EBj} = w * f_{pj} + (1-w) * f_j \quad [\text{Eq. 5-16}]$$

où :

f_{pj} = fréquence d'accidents estimée au site j

w = facteur de pondération (fréquence d'accidents prédite)

⁵ Pour être plus précis, le premier terme de l'équation 5-1 aurait dû être le « le niveau de sécurité estimé d'un site » (\hat{m}) (et non la fréquence d'accidents). Mais comme les méthodes classiques utilisent quelques années de fréquences d'accidents pour estimer \hat{m} , les deux termes sont équivalents.

A mesure que «w» augmente, une plus grande importance est attribuée à la fréquence d'accidents estimée à l'aide de la fonction de performance et inversement, un plus grand poids est accordé à la fréquence d'accidents du site à mesure que «w» diminue.

- La valeur de «w» est influencée par le degré d'homogénéité de la population de référence qui a été utilisée pour développer le modèle statistique (tel qu'exprimé par le paramètre de surdispersion), ainsi que par la valeur de la fréquence d'accidents prédite par la fonction de performance de sécurité (à mesure que cette valeur augmente, une plus grande importance est attribuée à la fréquence d'accidents au site).

La procédure de détermination de la fréquence d'accidents EB à l'aide de la méthode des moments est décrite ci-dessous. Pour être en mesure d'estimer cette fréquence EB à l'aide de la méthode statistique multivariée, le lecteur devrait se familiariser au préalable avec les références ci-haut mentionnées concernant le développement de modèles statistiques et les méthodes EB.

Potentiel d'amélioration

Donc si on résume, l'équation de base du potentiel d'amélioration est la suivante (équation 5-1) :

$$P.A._j = f_j - f_{pr}$$

Si la fréquence d'accidents EB et un modèle de prédiction sont disponibles, l'équation 5-1 devient :

$$P.A._j = f_{EBj} - f_{pj} \quad [Eq. 5-17]$$

Procédure – Méthode EB des moments	Exemple (voir <i>annexe 5-2</i>)
1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.	
2. Définir les différentes populations de référence.	
3. Pour chaque population de référence : <ul style="list-style-type: none"> calculer la fréquence d'accidents à chaque site; calculer f_{pr} et s^2 pour la population de référence; $f_{pr} = \frac{\sum f_j}{n} \quad s^2 = \frac{\sum (f_j - f_{pr})^2}{n - 1}$ <ul style="list-style-type: none"> calculer la fréquence d'accidents ajustée EB à chaque site (f_{EBj}); $f_{EBj} = f_j + \frac{f_{pr}}{s^2} (f_{pr} - f_j)$ <ul style="list-style-type: none"> calculer le potentiel d'amélioration (P.A.) à chaque site; $P.A._j = f_{EBj} - f_{pj}$ <p>où :</p> <ul style="list-style-type: none"> f_{EBj} = fréquence d'accidents ajustée EB au site j f_{pj} = fréquence d'accidents estimée au site j (modèle) <ul style="list-style-type: none"> classer les sites en fonction de leur potentiel d'amélioration. 	Routes rurales à deux voies Tableau 5-A4, colonne 3 $f_{pr} = 4,69$ $s^2 = 8,85$ Pour la section n° 1 $f_{EB1} = 9 + \frac{4,69}{8,85} (4,69 - 9) = 6,72$ Tableau 5-A4, colonne 12 f_{EB} varie de 2,49 à 9,06 Le P.A. de chaque section est indiqué à la colonne 13 du tableau 5-A4. Pour la section n° 1 $P.A._1 = 6,72 - 6,07 = 0,65$ $P.A.$ varie de -2,07 to 3,50 Les sections 10, 39, 35, 33 et 7 ont les meilleurs potentiels d'amélioration.

Avantages

- tient compte de la nature aléatoire des accidents;
- meilleure estimation du potentiel d'amélioration.

Inconvénient

- complexité relative de la méthode.

5.3.2 TYPES D'ACCIDENTS

Les problèmes de sécurité d'un réseau routier sont le plus souvent identifiés en utilisant un ou plusieurs des critères décrits à la **section 5.3.1**. De tels critères détectent des lieux de concentration anormale des accidents, sans que ne soit généralement connue la nature des problèmes rencontrés à ces sites au moment de l'identification. Une approche d'identification complémentaire, qui consiste à rechercher les types d'accidents se produisant en concentrations anormales, peut à cet égard s'avérer utile.

En effet, si on détecte à un site une concentration élevée d'un type d'accident pour lequel il existe un traitement efficace, une intervention de sécurité pourrait y être justifiée même si la fréquence totale d'accidents n'est pas déviante. Par exemple, une concentration d'accidents de nuit pourrait justifier l'installation d'un système d'éclairage même si la fréquence totale d'accidents n'est pas anormalement élevée.

Étant donné que ce qui constitue une proportion « anormale » d'accidents dépend fortement des caractéristiques du site étudié, il est recommandé ici encore d'appuyer son jugement sur la base d'une comparaison entre le site et des sites similaires (**population de référence**).

Pour pouvoir détecter des patrons d'accidents anormaux avec une certaine fiabilité, le nombre d'accidents considéré doit être relativement élevé. Il s'agit donc d'une approche d'identification qui est mieux adaptée aux types de collisions les plus fréquents, aux sites à forts débits de circulation et à ceux de plus grande dimension (route, région, réseau).

Différentes techniques statistiques peuvent servir à la détection de patrons d'accidents anormaux. Le test de proportion effectué à l'aide de la distribution binomiale est décrit ci-dessous.

Test de proportion (distribution binomiale)

La distribution binomiale peut être utilisée pour calculer la probabilité d'observer une fréquence donnée d'accidents de type i au site j (f_{ij}) lorsque l'on connaît la fréquence totale d'accidents à ce site (f_j) et la proportion moyenne de ce type d'accidents à des sites comparables (p_i):

$$p(f_{ij}) = \frac{f_j!}{f_{ij}!(f_j - f_{ij})!} \times p_i^{f_{ij}}(1 - p_i)^{f_j - f_{ij}} \quad [\text{Eq. 5-18}]$$

où :

- f_{ij} = fréquence d'accidents de type i au site j
- f_j = fréquence d'accidents totale au site j
- p_i = proportion moyenne d'accidents de type i dans la population de référence.

La probabilité d'observer moins que f_{ij} accidents de type i au site j est donc :

$$P(F_{ij} < f_{ij}) = \sum_{k=0}^{f_{ij}-1} \frac{f_j!}{k!(f_j - k)!} p_i^k (1 - p_i)^{f_j - k} \quad [\text{Eq. 5-19}]$$

et la probabilité d'observer f_{ij} accidents ou plus est :

$$P(F_{ij} \geq f_{ij}) = 1 - P(F_{ij} < f_{ij}) \quad [\text{Eq. 5-20}]$$

Si $P(F_{ij} \geq f_{ij})$ est faible, la fréquence de ce type d'accident est considérée anormalement élevée.

Procédure – Proportion binomiale	Exemple																																			
1. Localiser tous les accidents rapportés pendant la période d'analyse.																																				
2. Définir les différentes populations de référence.																																				
3. Pour chaque population de référence :	Routes rurales à deux voies																																			
<ul style="list-style-type: none"> calculer la fréquence d'accidents totale et la fréquence de chaque type d'accident considéré à chaque site; calculer la proportion de chaque type d'accident considéré pour la population de référence; 	<p>État de la surface (population de référence, section n° 45). Sur le total de 12 accidents à avoir été rapportés à la section n° 45, 7 sont survenus sur surface mouillée (58 %). La proportion équivalente est de 27 % dans la population de référence.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">POPULATION DE RÉFÉRENCE</th> <th colspan="2">SECTION N° 45</th> </tr> <tr> <th>Surface</th> <th>Fréquence</th> <th>Proportion</th> <th>Fréquence</th> <th>Proportion</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>sèche</td> <td>145</td> <td>0,56</td> <td>5</td> <td>0,42</td> </tr> <tr> <td>mouillée</td> <td>69</td> <td>0,27</td> <td>7</td> <td>0,58</td> </tr> <tr> <td>glacée</td> <td>30</td> <td>0,12</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>autre</td> <td>14</td> <td>0,05</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>258</td> <td>1,00</td> <td>12</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table>	POPULATION DE RÉFÉRENCE			SECTION N° 45		Surface	Fréquence	Proportion	Fréquence	Proportion	sèche	145	0,56	5	0,42	mouillée	69	0,27	7	0,58	glacée	30	0,12	0	0,00	autre	14	0,05	0	0,00	TOTAL	258	1,00	12	1,00
POPULATION DE RÉFÉRENCE			SECTION N° 45																																	
Surface	Fréquence	Proportion	Fréquence	Proportion																																
sèche	145	0,56	5	0,42																																
mouillée	69	0,27	7	0,58																																
glacée	30	0,12	0	0,00																																
autre	14	0,05	0	0,00																																
TOTAL	258	1,00	12	1,00																																
<ul style="list-style-type: none"> calculer $P(F_{ij} \geq f_{ij})$, selon l'équation 5-20. 	<p>Les probabilités d'observer 0, 1, ...6 accidents sur surface mouillée à la section n° 45 et les probabilités cumulatives correspondantes sont les suivantes :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>f</th> <th>p(f_{ij})</th> <th>P(f_{ij})</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0,0229</td> <td>0,0229</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,1016</td> <td>0,1245</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,2068</td> <td>0,3313</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,2549</td> <td>0,5862</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,2122</td> <td>0,7984</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0,1255</td> <td>0,9239</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,0542</td> <td>0,9781</td> </tr> </tbody> </table> <p>La probabilité d'observer jusqu'à 6 accidents sur surface mouillée est donc de 98 %. Par conséquent, la probabilité d'en observer 7 ou plus est de 2 % seulement.</p> <p>(La fréquence d'accidents sur chaussée mouillée est donc très élevée à ce site).</p>	f	p(f _{ij})	P(f _{ij})	0	0,0229	0,0229	1	0,1016	0,1245	2	0,2068	0,3313	3	0,2549	0,5862	4	0,2122	0,7984	5	0,1255	0,9239	6	0,0542	0,9781											
f	p(f _{ij})	P(f _{ij})																																		
0	0,0229	0,0229																																		
1	0,1016	0,1245																																		
2	0,2068	0,3313																																		
3	0,2549	0,5862																																		
4	0,2122	0,7984																																		
5	0,1255	0,9239																																		
6	0,0542	0,9781																																		

[TEST BINOMIAL ]

Remarques complémentaires – Types d'accidents

Cette section a décrit comment la détection de typologies anormales d'accidents peut être un outil d'identification utile. Cette approche peut être étendue pour détecter d'autres types de situations problématiques et même certains traitements possibles. En voici quelques exemples :

- recherche de caractéristiques de l'infrastructure contribuant à des concentrations de plus d'un type d'accident.

Exemple : les courbes horizontales problématiques sont souvent caractérisées par des proportions élevées de sorties de route, de collisions latérales et de collisions frontales. Il pourrait donc être utile de rechercher les courbes ayant une forte proportion combinée de ces types d'accidents, pour les soumettre à un diagnostic de sécurité approfondi.

- recherche de sites qui sont des candidats potentiels à un traitement particulier.

Exemple : le pavage des accotements non revêtus est une intervention relativement peu coûteuse, pouvant réduire les types d'accidents considérés dans l'exemple précédent (collisions frontales, collisions latérales et sorties de route en milieu rural). Il pourrait donc s'avérer utile de rechercher les sites ayant une proportion élevée de ces types d'accidents pour vérifier s'il y a lieu d'y asphalter les accotements.

De nombreuses variantes peuvent être envisagées, tout dépendant des informations disponibles. Si l'on peut relier les données d'accidents, d'infrastructure et de circulation, des requêtes sophistiquées qui intègrent ces différents types de données peuvent être effectuées. On pourrait par exemple rechercher toutes les intersections avec arrêts en milieu urbain, ayant une forte proportion de collisions à angle droit survenant aux heures de pointe et qui pourraient être des candidats potentiels pour l'installation de feux de circulation.

On pourrait aussi alternativement, et dès l'étape d'identification, estimer à l'aide des critères décrits dans cette section, le montant maximal pouvant être investi à un site pour y améliorer la sécurité (en tenant compte du coût des accidents à y être survenus et en supposant que les interventions pourraient ramener le niveau de sécurité du site au niveau moyen observé à des sites comparables). Si on connaît en plus le coût d'un traitement ainsi que le coût des accidents qu'il permettrait d'éviter, l'étape d'identification peut être poussée encore plus loin pour inclure une évaluation préliminaire de la rentabilité prévisible d'une intervention (Persaud et al., 1999).

Les technologies modernes et l'état actuel des connaissances permettent maintenant de raffiner considérablement les procédures d'identification, comparativement à ce qui pouvait être effectué il y a quelques décennies. Les analystes en sécurité devraient s'assurer de faire un bon usage de ces possibilités nouvelles de façon à améliorer l'efficacité de leur travail plutôt que de s'en tenir uniquement aux méthodes d'identification traditionnelles.

5.3.3 CRITÈRES FONDÉS SUR LES ACCIDENTS : CONCLUSIONS

Les principaux critères pouvant être utilisés pour détecter les problèmes de sécurité d'un réseau à partir de l'analyse des données d'accidents ont été décrits dans cette section. Certains de ces critères sont simples (fréquence d'accidents, taux d'accidents et gravité des accidents), alors que d'autres sont plus sophistiqués (modèles de prédiction des accidents et méthodes empiriques bayésiennes).

La liste de sites problématiques obtenue pourra varier en fonction des critères d'identification utilisés. Comme il a été expliqué, le critère de fréquence d'accidents tend à favoriser la détection de sites à forts débits de circulation, alors que le taux d'accidents favorise les sites à faible circulation et que les critères tenant compte de la gravité des traumatismes détectent plus de sites sur des routes à haute vitesse. Chacun de ces critères fait ressortir les problèmes selon une perspective différente et il apparaît en ce sens souhaitable d'analyser la performance de sécurité d'un réseau sous différents angles :

- une concentration élevée d'accidents en un lieu donné est en soi un indicateur de problématique de l'infrastructure routière et devrait justifier une analyse plus poussée;
- le taux d'accidents mesure le risque individuel auquel est exposé un usager de la route (rappelons que le taux est un ratio entre une fréquence d'accidents et un débit de circulation). Lorsque ce risque atteint un niveau inacceptable, une analyse de la situation est souhaitable;
- l'objectif ultime de toute action de sécurité routière est de réduire le nombre de traumatisés de la route (tués et blessés); il est donc normal d'apporter une plus grande attention à l'analyse des sites où se produisent les accidents les plus graves.

L'usage combiné des méthodes empiriques bayésiennes (EB) et de modèles statistiques multivariés est généralement considéré comme étant plus précise que les méthodes d'identification traditionnelles, car il permet de réduire les biais de sélection résultant de la nature aléatoire des accidents. Bien que la sophistication accrue des méthodes EB ne soit pas nécessairement essentielle lorsque les problèmes de sécurité sont évidents (ce qui peut être le cas lors des étapes initiales d'interventions en sécurité), leur utilisation peut aujourd'hui être grandement facilitée par les technologies informatiques disponibles. On ne devrait donc pas se priver des avantages de la méthode.

Les méthodes de détection décrites dans cette section s'appuient exclusivement sur le concept de potentiel d'amélioration, c.-à-d. sur la comparaison du niveau de sécurité d'un site avec celui d'un groupe de sites ayant des caractéristiques similaires (*population de référence*). Cette approche permet de détecter **les pires sites d'un type donné**. Il importe de reconnaître qu'il existe d'autres stratégies d'identification pouvant aussi être utiles pour détecter les sites problématiques d'un réseau routier, notamment :

- détection des **pires sites d'un réseau** au moyen des critères décrits en **5.3.1**, sans égard au concept de population de référence;
- détection de **détériorations de sécurité** à un site entre deux périodes d'accidents (le test de Poisson peut être utilisé à cette fin).

[TEST DE POISSON]

Pour l'exemple de calcul de la **section 5.3.1**, deux seuils d'investigation ont été utilisés :

- valeur du critère d'identification au site est au moins deux fois plus élevée que la valeur moyenne de ce critère dans la population de référence;
- classement des sites par ordre décroissant de leur **potentiel d'amélioration**.

De nombreux autres seuils d'investigation auraient aussi pu être utilisés. Par exemple, lorsque l'écart type de la population de référence est connu, la statistique « potentiel d'amélioration / écart type » peut être utilisée pour classer les sites. On réduit le risque d'identifier un site parce qu'il vient de connaître une pointe aléatoire d'accidents.

Exemple – Résumé des résultats

Le tableau suivant présente un résumé des résultats obtenus avec l'exemple numérique de la **section 5.3.1 (annexe 5-2 pour détails)**.

Tableau 5-5 Sommaire des sections identifiées comme dangereuses

CRITÈRE	SECTION											
	1	7	10	12	33	35	36	39	45	48	49	52
FRÉQUENCE D'ACCIDENTS	X		X	X					X	X		X
TAUX D'ACCIDENTS			X		X	X		X				
TAUX D'ACCIDENTS CRITIQUE			X			X			X			
IEDMS					X						X	
IGR												
COMBINÉS (TAUX ET FRÉQUENCE)			X									
MODÈLE DE PRÉDICTION D'ACCIDENTS	X		X				X		X			X
MÉTHODE EMPIRIQUE BAYESIENNE		X	X		X	X		X				

Ces résultats montrent que :

- la section 10 a été détectée par six des huit critères d'identification. Assurément, cette section est déficiente en termes de sécurité. Lorsque le problème est clair, le choix des critères d'identification a moins d'influence sur le choix de sites;
- le critère *fréquence d'accidents* a principalement conduit à la détection de sections à forts débits de circulation (à l'exception de la section 10, toutes les sections détectées ont un DJMA de plus de 6 000 véhicules, alors que le DJMA moyen est de 4 400 véhicules). Le critère *taux d'accidents*, par contre, a surtout conduit à la détection de sections à faibles débits de circulation (la section 10 mise à part, toutes les sections détectées ont un DJMA inférieur à 2 000 véhicules). Il s'agit de résultats typiques pour ces deux critères;
- trois critères font directement intervenir le concept de potentiel d'amélioration pour classer les sections, soit la fréquence d'accidents, les modèles de prédiction d'accidents et les méthodes empiriques bayésiennes (EB). On note cependant des différences au niveau des sections identifiées. Les résultats obtenus à l'aide des modèles de prédiction d'accidents sont considérés plus fiables que ceux obtenus avec le critère de fréquence d'accidents car l'estimation du second terme de l'équation 5-1 est elle-même plus précise. De façon semblable, les résultats obtenus avec les méthodes EB sont jugés plus fiables que ceux obtenus avec les modèles de prédiction car l'estimé du premier terme de l'équation 5-1 est aussi plus précis.

On ne peut évidemment tirer de conclusions définitives à partir d'un exemple, mais les résultats obtenus montrent néanmoins comment le choix de sites détectés peut varier en fonction des critères utilisés. D'où l'importance d'utiliser plus d'un critère d'identification et de comparer les résultats obtenus.

5.4 IDENTIFICATION PROACTIVE

À mesure que les connaissances évoluent, une plus grande importance peut être accordée aux interventions de sécurité proactives qui visent à éviter l'occurrence d'accidents futurs (plutôt que la répétition d'accidents passés). On peut ainsi :

- corriger des lacunes de sécurité de réseaux existants avant que des accidents ne s'y produisent;
- s'assurer que les caractéristiques de projets d'aménagements routiers ou de gestion de la circulation soient compatibles avec la sécurité.

Les actions proactives font partie des pratiques des administrations routières depuis plusieurs décennies, qu'il s'agisse :

- d'inspections du réseau visant à en détecter les éléments dangereux. À partir des années soixante, certains guides ont été publiés pour aider à l'identification de tels éléments (American Association of State Highway Officials, 1967). Par exemple, le tableau 5-6 présente une liste d'éléments identifiés en 1986 comme étant dangereux par des praticiens nord-américains;
- d'observations à des sites spécifiques, en suivant des procédures et techniques mises au point pour détecter des caractéristiques routières hasardeuses et des comportements ou manoeuvres à risque. Les procédures du *Positive Guidance* (Lunenfeld and Alexander, 1990) et les **techniques de conflits de circulation** sont à cet égard d'un intérêt certain;
- d'études d'impacts ou d'audiences publiques lors de la réalisation de projets routiers, pour en évaluer les différents effets prévisibles : sécurité, mobilité, environnement, coûts d'exploitation, acceptation par la population, etc.

À la fin des années 1980, des procédures formelles d'audits de sécurité routière (ASR) ont été développées. Ces procédures fournissent un cadre de référence structuré pour identifier les lacunes de sécurité de projets routiers ou de routes existantes, sur la base d'observations de leurs caractéristiques. Les principes directeurs de ces procédures sont décrits à la **section 5.4.1**.

Mais même dans les nombreux pays ayant intégré les procédures d'ASR à leurs pratiques, il reste encore bien des actions qui ont un effet direct sur la sécurité et sont mises en œuvre sans véritable évaluation de cet effet. La **section 5.4.2**, explique qu'un examen critique des procédures et pratiques en vigueur pourrait fournir des opportunités additionnelles d'amélioration de la sécurité, souvent à un coût minime.



Inspection routière à vitesse réduite à l'aide d'un véhicule de patrouille.

Tableau 5-6 Liste d'éléments dangereux (identifiés par les professionnels du domaine)

- Chaussées glissantes;	- Défauts d'unis de surface;
- Extrémités de ponts rigides;	- Barrières rigides, murs de pierres, clôtures;
- Structures de drainage rigides;	- Intersections dissimulées, à multiples approches (5 ou plus) ou avec problèmes de visibilité;
- Supports rigides de signalisation, lampadaires ou feux de circulation;	- Courbes horizontales raides, surtout le long des routes étroites dont les abords ne permettent pas de récupération en cas d'empiètements;
- Massifs rocheux ou murs de pierres en bordure de la route (surtout si elle est sinueuse);	- Traverses de piétons, vélos;
- Arbres matures en bordure de la route;	- Dénivellation entre les voies de roulement et l'accotement;
- Poteaux d'utilités publiques à proximité de la route;	- Voies et accotements étroits, surtout en présence de courbes ou pentes raides et d'abords de route non dégagés;
- Emplacement inadéquat de mobilier urbain (boîtes à fleurs, bancs, etc.);	- Discontinuités routières (réduction du nombre de voies, transition d'une route à deux sens à une route à sens unique, changement majeur du type de section de route);
- Boîtes aux lettres rigides en milieu rural;	- Nombre élevé d'entrées privées, surtout le long des routes de mobilité ou à forts débits;
- Traverses de gros animaux (chevreuils, bétails, etc.);	- Voitures stationnées à proximité d'une intersection ou sur une rue étroite;
- Bornes d'incendies;	- Zones de travaux;
- Déchets et véhicules abandonnés en bordure de la route;	- Combinaisons d'éléments (p. ex. voie étroite sans accotement à proximité d'une courbe horizontale raide avec fossés abruptes et obstacles rigides à proximité);
- Tunnels étroits, surtout en présence d'une courbe horizontale;	- Éclairage insuffisant;
- Structures rigides de viaducs ou ponts;	- Pentes raides;
- Bâtiments rapprochés de la route/rue;	- Pentes de talus abruptes (abords de route);
- Terminaisons de glissières de sécurité inadéquates (trop basses, structurellement déficientes);	- Absence de voie de virage ou voie trop courte;
- Obstacles rigides ou pentes raides dans les zones de musoir;	- Signalisation, délinéation ou phasage de feux inadéquats;
- Ponts étroits avec visibilité restreinte ou à proximité d'une courbe horizontale;	- Rond-point ⁶ .
- Ponts avec déficiences structurales;	
- Passages à niveau, surtout sur les routes à circulation rapide avec des lacunes géométriques et des messages d'avertissement insuffisants;	
- Restrictions de visibilité causées par des courbes ou pentes raides ou de la végétation sur les abords de route;	

Source : Zegeer, 1986

5.4.1 AUDITS DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE (ASR)

Austrroads (2002) définit l'audit de sécurité de la façon suivante :

« Examen formel d'une route existante ou future ou d'un projet de gestion de la circulation, dans lequel une équipe indépendante et qualifiée fait rapport des aspects du projet touchant les possibilités d'accidents et la sécurité. »

Les auditeurs doivent évaluer les impacts de sécurité pour tous les types d'usagers de la route (motorisés et non-motorisés).

⁶ À ne pas confondre avec « carrefour giratoire » (voir par exemple, Federal Highway Administration, 2000, p. 8 (<http://www.tfhrc.gov/safety/00-0671.pdf>)).

Tel que mentionné précédemment, les évaluations de sécurité de routes existantes ou de projets routiers ne sont pas vraiment nouvelles. Cependant, les procédures d'audits de sécurité routière (ASR) ont permis de formaliser cette tâche à l'intérieur de processus systématiques et elles ont aussi rehaussé de façon significative le profil de ces évaluations (AIPCR, 2001). Les ASR sont devenus pratique courante dans plusieurs pays et dans bien des cas, un manuel national d'audits de sécurité routière a été développé, dont notamment : Angleterre (The Institution of Highways and Transportation, 1996), Australie (Austroads, 2002), Canada (Transportation Association of Canada, 2001), Danemark (Gaardbo, 1997), Nouvelle-Zélande (Transit New Zealand, 1993). Les ASR sont obligatoires dans certains pays et libres dans d'autres.

Les ASR ont formalisé le processus d'examen de sécurité de plusieurs manières. Les manuels sur le sujet :

1. distinguent plusieurs étapes d'audits. Ainsi le manuel australien (Austroads 2002) suggère quatre étapes d'audits pour les projets routiers :
 - étude de faisabilité;
 - conception préliminaire;
 - conception détaillée;
 - pré-ouverture.

Ce manuel explique aussi comment appliquer les procédures d'audits aux :

- plans de circulation pendant les travaux routiers;
 - groupes d'utilisateurs spécifiques de la route;
 - développements du territoire adjacents à la route;
 - routes existantes.
2. proposent des listes de vérifications détaillées pour chaque étape d'audit;
 3. précisent les qualifications requises des auditeurs; l'expertise et l'indépendance sont deux qualités essentielles :
 - les audits sont généralement effectués par une petite équipe de spécialistes ayant une expertise solide et complémentaire leur permettant de prendre en considération tous les facteurs pouvant contribuer aux accidents: planification des transports et de l'utilisation du territoire, conception routière, exploitation de la route, entretien, dynamique des véhicules et facteurs humains;
 - les auditeurs doivent être totalement indépendants de l'équipe de conception du projet de façon à les libérer de toute contrainte imposée lors du développement. Il leur est ainsi possible de jeter un regard neuf sur le projet.

Les auditeurs doivent s'assurer du respect des normes de conception existantes mais ils doivent aussi aller au delà de cette stricte vérification qui n'est pas nécessairement une garantie suffisante dans toutes les circonstances :

« Appliquer les normes ou les pratiques sans tenir compte des circonstances ne saurait remplacer le jugement ni garantir l'obtention d'un produit final acceptable. De même, il est peu probable que les études réalisées sans égard aux normes et pratiques généralement reconnues puissent desservir le public voyageur de la manière envisagée. Seules les études fondées sur une combinaison de jugement professionnel bien informé et de l'application des normes et pratiques courantes et pertinentes peuvent conduire à la réalisation de routes très efficaces ... »

Professional Engineers of Ontario, 1998

Les avantages économiques liés à la réalisation d'audits de projets routiers ont été clairement démontrés dans des études récentes. De façon générale, le coût d'un audit représente moins de 0,5 % du coût total d'un projet mais rapporte bien davantage en termes d'accidents épargnés et de rentabilité économique (Jordan, 2002).

À n'en pas douter, toutes les administrations routières devraient intégrer les audits de projets à leurs pratiques courantes.

Audits des routes existantes

Des audits de sécurité peuvent aussi être effectués sur des routes existantes afin d'en détecter les lacunes de sécurité avant qu'elles ne conduisent à des accumulations d'accidents. On utilise souvent d'autres termes qu'«audit», pour bien marquer la différence avec celles qui sont réalisées à l'étape de la conception : revue, évaluation de sécurité, etc.

Certaines administrations routières hésitent à effectuer ce type d'audit, par crainte des implications juridiques qui pourraient survenir si des problèmes détectés n'étaient pas corrigés assez rapidement; l'expérience tend cependant à démontrer qu'une telle crainte n'est pas justifiée. D'une part, il est clair que les traumatismes routiers ne représentent qu'un des nombreux problèmes de santé publique auxquels est confrontée une société et que le budget annuel pouvant être alloué à l'amélioration de la sécurité ne peut suffire à éliminer d'un coup tous les problèmes. L'important est de pouvoir justifier les priorités établies. D'autre part, les administrations routières ont bel et bien une obligation de diligence et partant, elles doivent avoir recours aux meilleures méthodes disponibles pour détecter les lacunes de sécurité de leur réseau routier, proposer des mesures correctives appropriées et appliquer des méthodes objectives pour prioriser ces mesures. Les audits de sécurité routière sont un outil utile de détection des déficiences de sécurité.

Compte tenu de l'ampleur de la tâche, ce type d'audit est souvent réparti sur plusieurs années. Après avoir effectué un certain nombre d'audits dans des environnements routiers similaires, les auditeurs peuvent cependant s'attendre à retrouver des éléments répétitifs parmi les principaux problèmes relevés, comme le montrent les exemples du tableau 5-7. Une telle situation devrait susciter des analyses critiques des pratiques et programmes d'une administration routière, dans le but d'éviter la répétition future des mêmes problèmes.

Les listes de vérification de l'*annexe 6-3* peuvent être utilisées pour effectuer des audits de routes existantes.

Tableau 5-7 Exemple – Principaux problèmes détectés lors d'audits de routes existantes

ROUTES RURALES	ROUTES URBAINES
Abords de route hasardeux (pentes de talus raides, obstacles rigides, glissières de sécurité inadéquates)	Gestion inadéquate des conflits de circulation aux intersections (manoeuvres non prioritaires, piétons et cyclistes)
Caractéristiques du tracé en plan ou du profil en long	Signalisation (direction, noms des rues)
Signalisation (avertissement, prescription, direction, travaux)	Entretien (marquage, éclairage)
Entretien (signalisation, marquage, éclairage, végétation)	Stationnement
Accès à la route (densité, emplacement, caractéristiques géométriques)	Environnements à forte densité d'informations compétitives
Combinaison d'usagers motorisés et non motorisés	
État de la surface de roulement	État de la surface de roulement



Entretien inadéquat (végétation, glissières de sécurité).

Répartition des ressources entre mesures de sécurité proactives et réactives

L'adoption des procédures d'ASR soulève la question de la répartition des enveloppes budgétaires disponibles entre les mesures proactives (prises avant que les accidents ne surviennent) et les mesures réactives (prises après les accidents).

Dans le cas des projets routiers, il est généralement plus facile de justifier l'adoption des recommandations des auditeurs, l'argument de base étant qu'il en coûte beaucoup moins cher de modifier un plan à l'étude que d'effectuer des travaux correctifs sur des routes existantes. Pourtant, même à cette étape, il peut être difficile de prendre une décision si les modifications suggérées entraînent une hausse substantielle des coûts. Les auditeurs doivent nécessairement prendre en compte la question des coûts lorsqu'ils font leurs recommandations.

Pour les routes existantes, il peut être difficile de justifier des investissements au titre de la sécurité à des sites qui ne présentent pas d'accumulation d'accidents lorsqu'on ne dispose pas de fonds suffisants pour corriger les sites accidentogènes. La décision et le moment d'intervention doivent prendre en considération les probabilités d'accidents, leur gravité attendue, le coût des mesures correctives, l'efficacité de ces mesures et le niveau de certitude de ces différentes variables. Les lacunes de sécurité évidentes, qui peuvent entraîner des blessures graves mais être corrigées à un coût raisonnable devraient l'être sans tarder. À mesure que les risques diminuent et que les coûts d'interventions augmentent, les mesures seront intégrées à la planification normale des activités d'entretien ou des projets d'amélioration.

Les problèmes détectés à la fois par les audits de sécurité et les analyses d'accidents devraient justifier une intervention accélérée. Des méthodes permettant de déterminer les priorités de mise en œuvre des recommandations d'audits de sécurité routière, commencent à être proposées (p. ex. Brodie et Koorey, 2000).

L'importance relative des mesures proactives est susceptible d'augmenter dans le temps, à mesure que les points noirs d'un réseau sont corrigés et que les connaissances en sécurité évoluent.

5.4.2 IDENTIFICATION : UNE PERSPECTIVE ÉLARGIE

La majorité des administrations routières attribuent une partie de leur budget à l'amélioration des sites accidentogènes et à la correction des éléments hasardeux d'un réseau. Cependant, l'ampleur et la diversité des actions devant être réalisées pour développer et exploiter un réseau routier font en sorte que le financement disponible pour des mesures spécifiques de sécurité est souvent très limité. Ceci contraste avec le fait que la plupart des actions des administrations routières ont un effet direct sur la sécurité, même lorsque ce n'est pas leur motif premier de réalisation. Si l'on pouvait évaluer adéquatement ces effets avant d'intervenir, bien des accidents pourraient être évités, souvent pour un coût minime ou même nul. Les développements récents effectués au niveau des audits ont marqué une amélioration importante en ce sens, mais il est encore possible de faire davantage.

Les paragraphes suivants décrivent comment la plupart des administrations routières prennent leurs décisions - le *processus décisionnel* - pour proposer ensuite des solutions générales visant à mieux intégrer l'aspect sécurité à ce processus (*Comment élargir les perspectives de sécurité*).

Le processus décisionnel

De façon simplifiée, la mission d'une administration routière consiste à satisfaire les besoins de déplacement des personnes et des marchandises et à appuyer le développement socio-économique, tout en veillant à minimiser les impacts des réseaux routiers sur la sécurité et l'environnement.

Pour mener cette mission à bien, les tâches suivantes doivent être réalisées :

- cueillette d'informations;
- identification des besoins;
- élaboration des projets;
- évaluation des impacts prévus et sélection des mesures;
- mise en œuvre des mesures et évaluation de leurs conséquences.

Cueillette d'information

Pour être en mesure de déterminer les besoins d'intervention les plus pressants, une administration routière doit utiliser plusieurs sources d'information distinctes. Il faut d'abord et avant tout établir un système de données fiable qui décrive de façon précise et intégrée les caractéristiques du réseau : infrastructure, circulation et accidents (*chapitre 4*). Différents autres sources d'information sont aussi utiles :

- connaissances, expérience et expertise des employés;
- savoir extérieur (littérature, expertise);
- demandes des utilisateurs du réseau, de la population locale, des policiers, etc.

Identification des besoins

Sur la base de ces informations, la performance d'un réseau routier peut être évaluée en fonction de divers objectifs : mobilité, qualité des infrastructures, environnement, sécurité, etc. Des indicateurs de performance ont été développés dans chacun de ces domaines (p. ex. tableau 5-8). Les principaux indicateurs de performance de sécurité ont été décrits à la *section 5.3*.

Élaboration des projets

Différents projets sont ensuite élaborés en fonction des besoins identifiés. Il peut s'agir de :

- mesures visant à préserver l'intégrité du réseau (nouveau revêtement de surface, émondage, marquage de la chaussée, etc.);
- mesures visant à améliorer les caractéristiques actuelles du réseau (installation de meilleurs dispositifs de protection, remplacement d'intersections par des carrefours giratoires, etc.);
- constructions de nouvelles routes;
- changements aux procédures, normes ou pratiques en usage : procédures de gestion des zones de travaux, normes géométriques, pratiques d'entretien, etc.
- mesures incitatives ou dissuasives légales ou financières (lois, financements, taxes).

Évaluation des impacts prévus et sélection des mesures

La plupart de ces projets et mesures affectent, de façon simultanée, plus d'un indicateur de performance (tableau 5-8). Par exemple, un projet de resurfaçage qui améliore la qualité de la surface de roulement est aussi susceptible d'entraîner une augmentation des vitesses pratiquées et peut donc avoir des effets négatifs sur la sécurité, la mobilité et les émissions polluantes. Ces différents impacts devraient être évalués formellement avant la réalisation des travaux.

Mise en œuvre et évaluation après réalisation

Au cours des travaux, une surveillance appropriée doit être effectuée pour s'assurer que les mesures mises en œuvre sont conformes aux plans proposés et ne contribuent pas à l'ajout de nouveaux éléments hasardeux sur le réseau.

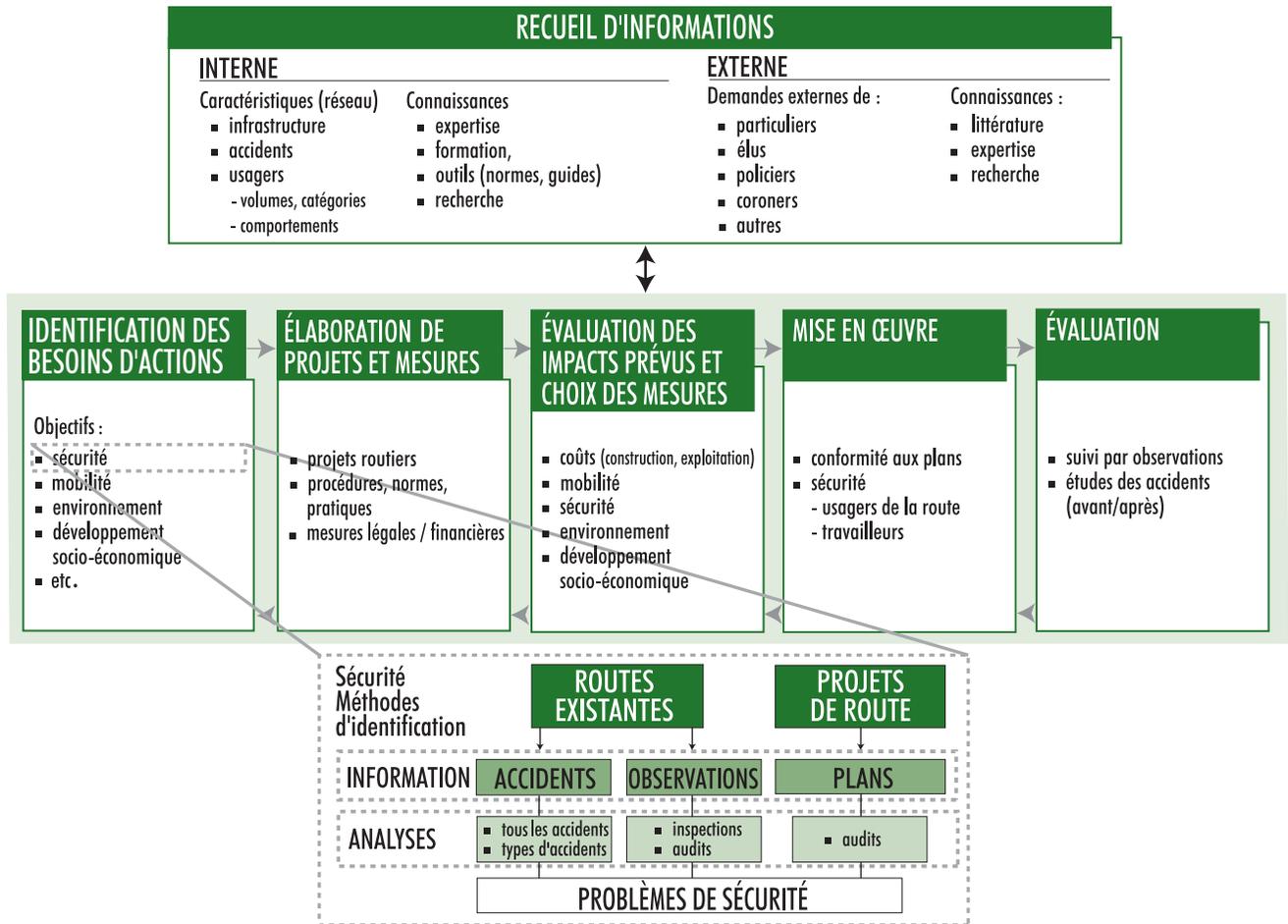
Il faut aussi procéder à une évaluation après la fin des travaux, pour vérifier que les bénéfices anticipés ont été obtenus et s'assurer que des effets négatifs non prévus n'ont pas été introduits dans le réseau. Le résultat de ces évaluations permettra aussi d'améliorer l'efficacité des actions futures.

Tableau 5-8 Exemple - Indicateurs de performance

OBJECTIF	INDICATEUR DE PERFORMANCE
MOBILITÉ	- temps de parcours, vitesse, retard - nombre de déplacements (par type d'utilisateur) - etc.
CONDITIONS DE SURFACE	- adhérence - IRI - etc.
ENVIRONNEMENT	- émissions polluantes - bruit - etc.
SÉCURITÉ	- fréquence d'accidents - taux d'accidents - gravité des accidents - etc.

La figure 5-9 illustre le schéma de ce processus décisionnel.

Figure 5-9 Processus décisionnel d'une administration routière



Comment élargir les perspectives de sécurité

Évaluations supplémentaires de sécurité

Tel que défini à la **section 5.4.1**, un audit de sécurité routière est une évaluation formelle de la sécurité d'un projet routier ou d'une route existante, menée par une équipe de spécialistes indépendants. Il y aurait lieu d'élargir la portée de telles évaluations, pour englober une plus grande proportion des activités d'une administration routière ayant un impact sur la sécurité. Il peut s'agir de :

- projets de construction de route non soumis à un audit;
- procédures, programmes et pratiques courantes;
- lois et règlements touchant le transport routier (p. ex. limites de charge et dimensions des véhicules);
- mesures incitatives ou dissuasives (p. ex. financement du transport en commun).

Meilleure utilisation des données, connaissances et technologies disponibles

Les données d'accidents, qui sont coûteuses à recueillir, sont généralement sous-utilisées, surtout si l'on tient compte des progrès technologiques récents qui multiplient la gamme d'analyses pouvant être réalisées sans trop de difficultés. L'organisation de ces données et l'élaboration de programmes d'exploitation conviviaux devraient être des priorités.

Des programmes informatiques simples devraient ainsi être mis à la disposition des gestionnaires pour leur permettre d'effectuer des requêtes de base conduisant à des prises de décisions éclairées. Des programmes plus sophistiqués devraient aussi être développés pour les analystes en sécurité, afin de leur faciliter l'utilisation de méthodes et techniques de pointe. Et finalement, l'accès à l'ensemble du contenu des bases de données disponibles devrait être prévu pour les chercheurs, afin qu'ils puissent extraire le maximum d'informations des systèmes existants.

Le développement d'applications facilitant l'utilisation des connaissances acquises notamment par l'exploitation de ces bases de données, devrait aussi être encouragé. Le projet américain de « Interactive Highway Safety Design Model⁷ », constitue à ce niveau une réalisation d'envergure, l'objectif étant d'aider les concepteurs routiers à mieux prendre en compte l'aspect sécurité lors de l'élaboration de nouveaux projets.

Amélioration des canaux de communication au sein d'une administration routière

Les concepteurs de projets routiers et les spécialistes en sécurité travaillent souvent dans des départements séparés, chacun ayant leurs propres budgets et objectifs. Plusieurs concepteurs croient que le respect des normes en vigueur conduit nécessairement à l'élaboration de plans qui seront sécuritaires, mais l'expérience montre qu'il peut en être autrement. D'autre part, les spécialistes en sécurité s'attachent souvent de façon exclusive à l'élaboration de programmes spécifiques de sécurité routière – programme de correction de points noirs par exemple. Il faut donc accroître la communication (canaux formels et informels) entre les différents spécialistes en transport par la mise en oeuvre de différents types d'activités : réunions et comité de travail, points de contrôle, séminaires conjoints, activités sociales.

5.5 CONCLUSION

Différentes méthodes d'identification des problèmes de sécurité d'un réseau routier ont été décrites dans ce chapitre, en distinguant les approches réactives et proactives.

Identification réactive

Les principes d'utilisation des méthodes réactives - c.-à-d. basées sur l'analyse de l'historique des accidents - ont été expliqués en détail à la **section 5.3**. La présentation a porté à la fois sur des critères simples et sur des critères plus sophistiqués. Ce qui est de nature à pouvoir répondre aux besoins de toutes les administrations routières.

Tel que présenté dans ce chapitre, l'identification réactive s'appuie sur le principe de potentiel d'amélioration pouvant être attendu d'interventions effectuées au niveau de l'infrastructure. Malgré l'intérêt de cette stratégie d'identification, il importe néanmoins de reconnaître qu'il existe d'autres façons de détecter les sites déviants. On peut par exemple procéder à la recherche des pires sites d'un réseau sans égard à leur population de référence ou encore rechercher les sites ayant subi une détérioration récente de leur niveau de sécurité.

La **section 5.3.2** a expliqué comment l'identification peut aussi porter sur la recherche de sites présentant des concentrations anormalement élevées de certains types d'accidents, sans que le nombre total d'accidents y soit nécessairement déviant. Il s'agit d'une autre façon de faire qui peut aussi s'avérer utile.

⁷ Interactive Highway Safety Design Model (<http://www.tfhr.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm>)

Les explications de la **section 5.3** et l'exemple de l'**annexe 5-2** qui les accompagne sont traités en fonction de la détection de points noirs. Tel que mentionné en introduction, la correction de ces sites constitue généralement le premier type d'intervention de sécurité effectuée par une administration routière, ce qui est justifié par sa forte rentabilité. Mais il faut cependant reconnaître qu'une démarche globale d'identification doit aller au delà de la détection de ces sites et s'attarder aussi aux recherches de problématiques sur des ensembles de plus grandes dimensions. Les ensembles considérés peuvent être :

- des parties complètes de réseaux (p. ex. une région administrative d'une autorité en transport, une municipalité, etc.);
- des routes ou des parties de routes;
- des groupes de sites plutôt que des sites individuels (les autoroutes, les intersections en croix en milieu urbain, les courbes horizontales, en milieu rural, etc.).

Les méthodes d'identification de tels ensembles sont très variées. On pourrait ainsi :

- comparer la performance globale de sécurité de différentes parties du réseau (ce qui pourrait par exemple permettre d'identifier des régions administratives ayant des bilans accidentels anormalement élevés);
- comparer la performance globale de sécurité de certains types de routes ou éléments du réseau (ce qui pourrait par exemple permettre de conclure que les intersections en X ont un bilan de sécurité inacceptable);
- procéder à des études des typologies d'accidents sur de grands ensembles (et conclure par exemple, que le nombre d'accidents de piétons est problématique dans une certaine municipalité ou encore que la proportion de sorties de routes est anormalement élevée sur un type de route donné);
- etc.

Les critères d'identification de la **section 5.3** peuvent servir à ces analyses qui conduiront à l'élaboration de programmes spécifiques d'interventions en sécurité (actions de masse) qui seront inclus au **plan d'action national en sécurité routière** (au même titre que les actions visant à améliorer les points noirs ou que celles visant à accroître l'usage de la ceinture de sécurité par exemple). Il pourrait s'agir d'un programme spécifique d'amélioration des abords de route en milieu rural, d'un programme spécifique d'amélioration de la protection accordée aux piétons dans les zones urbaines, etc.

Identification proactive

La **section 5.4.1** a par la suite expliqué les principes sous-jacents à une identification proactive, qui est aujourd'hui largement centrée sur l'application de procédures formelles d'audits de sécurité. Il s'agit d'une activité qui a pris une ampleur considérable au cours des années 1990 et tout porte à croire que cette tendance se poursuivra dans les prochaines années.

Mais il faut en parallèle voir comment la préoccupation de sécurité peut devenir plus globalement intégrée aux pratiques courantes d'une administration routière. La **section 5.4.2** a décrit à cet effet un aperçu du processus général de prise de décision de ces administrations et proposé certaines avenues susceptibles d'accroître la prise en compte du facteur sécurité. Pour être davantage efficace en la matière, des changements profonds devraient être apportés aux cultures organisationnelles. De façon générale, la tâche d'identification ne devrait pas se limiter à la détection des lacunes de sécurité d'un réseau, que ce soit à l'aide de méthodes réactives ou proactives, mais devrait aussi inclure, de façon plus positive, des recherches d'opportunités d'amélioration des façons de faire d'une organisation.

RÉFÉRENCES

- Agent, K.R. (1973)** *Evaluation of the high-accident location spot-improvement program in Kentucky*, Kentucky Bureau of Highways, Res. Rept. 357.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (1974)** *Highway design and operational practices related to highway safety*, AASHTO, Washington, DC.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (1997)** *Highway safety design and operations guide*, Washington, DC. 118 p. Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.
- American Association of State Highway Officials (1967)** *Highway design and operational practices related to highway safety*, A Report of the Special AASHTO Traffic Safety Committee, Washington, DC.
- Andreassen, D. (1993)** *A guide to the use of road accident cost data in project evaluation and planning*, ARR 226, Australian Road Research Board, 16 p.
- Andreassen, D. (2001)** *Crash costs-2001, cost by accident-type. Data capture and analysis*, Australia.
- Austroroads (2002)** *Road safety audit, second edition*, Austroroads, Sydney, Australia, 135 p.
- Brodie, C. et Koorey, G. (2000)** *Road safety audit ranking – Review of Austroroads procedures*, Report No. RA99/8645, Transfund New Zealand, Wellington, New-Zéland.
- Elvik, R. (1988)** *Some difficulties in defining populations of “entities” for estimating the expected number of accidents*, Accident Analysis & Prevention V20, N4, pp. 261-275.
- Federal Highway Administration (1994)** *Motor vehicle accident costs*, Technical Advisory T7570.2, U.S. Department of Transportation.
- Federal Highway Administration (2000)** *Roundabouts: An Informational Guide*, FHWA-RD-00-067, Federal Highway Administration, Washington, DC., 268 p.
- Gaardbo, A. et Schelling, A. (1997)** *Manual of road safety audit, 2nd Edition*, Ministry of Transport, Road Directorate, Denmark.
- Gunnarsson, S.O. (1999)** *Traffic planning, Chapter 2 in traffic safety toolbox – A primer on road safety*, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC., pp. 15-38.
- Hannah, J. et Chadfield, E. (1998)** *Safety auditing of existing roads in New Zealand, Proceedings of the Austroroads international road safety audit forum*, Melbourne, Australia.
- Hauer, E. (1992)** *Empirical Bayes approach to the estimation of “unsafety”: The multivariate regression method*, Accident analysis & prevention, V24, N5, pp. 457-477.
- Hauer, E. (1996)** *Identification of sites with promise*, Transportation Research Record 1542, pp. 54-60, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Hauer, E. (1997)** *Observational before-after studies in road safety*, Pergamon. 289 p.
- Hauer, E. (2004)** *Statistical safety modeling*, Paper presented at the 2004 Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
- Hauer, E., Allery, B.K., Kononov, J. et Griffith, M.S. (2004)** *How best to rank sites with promise?* (<http://members.rogers.com/hauer/download.htm>).
- Hauer, E., Harwood, D.W., Council, F.M. et Griffith, M.S. (2002)** *The Empirical Bayes method for estimating safety: A tutorial*, Transportation Research Record 1784, pp. 126-131, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Hauer, E., Kononov, J., Allery, B.K. et Griffith, M.S. (2002)** *Screening the road network for sites with promise*, dans *Transportation Research Record 1784*, pp. 27-31, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Hauer, E. et Persaud, B.N. (1984)** *Problem of identifying hazardous locations using accident data.*, Transportation Research Record 975, Transportation Research Board, pp. 36-42, Washington, DC.
- The Institution of Highways and Transportation (1996)** *Guidelines for the safety audit of highways*, London.

- Jordan, P. (2002)** *Putting road safety audit to work worldwide*. Routes/Roads. No. 314.
- Krammes, R.A. et Hayden, C. (2003)** *Making two-lane roads safer*, Public Roads, V66, N4, (January/February 2003)
- Lunefeld, H. et Alexander, G.J. (1990)** *A user's guide to positive guidance, 3rd Edition*, FHWA-SA-90-017, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Mahalel, D. (1986)** *A note on accident risk*, Transportation Research Record 1068, pp. 85-89, Transportation Research Board, Washington, DC.
- May, J.F. (1964, February)** *A determination of an accident-prone location*, Traffic Engineering.
- Maycock, G. et Hall, R.D. (1984)** *Accidents at 4-arm roundabouts*, TRRL Laboratory Report 1120, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, England.
- McGuigan, D.R.D. (1981)** *The use of relationships between road accidents and traffic flow in "black spot" identification*, Traffic Engineering, V12, N1, pp. 448-453.
- Miaou, S.P. (1994)** *The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions*, Accident Analysis and Prevention, V26, N4, pp. 471-482.
- Nicholson, A.J. (1987)** *The estimation of accident rates and countermeasures effectiveness*, Traffic Engineering & Control, V28, N10, pp. 518-523.
- Norden, M., Orlansky, J. et Jacobs, H. (1956)** *Application of statistical quality-control techniques to analysis of highway-accident data*, Highway Research Board, Bulletin 117, Washington, DC., pp.17-31
- Persaud, B., Lyon, C. et Nguyen (1999)** *Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for safety improvement*, Transportation Research Record 1665, pp. 7-12, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Professional Engineers of Ontario (1998)** *Highway 407 safety review: Ministry of Ontario*, Ontario.
- PIARC (2001)** *Road safety audits*, PIARC Technical Committee on Road Safety (C13), Publication 13.02.B.
- The Royal Society for the Prevention of Accidents (2002)** *Road safety engineering manual*, Birmingham, England.
- Satterthwaite, S.P. (1981)** *A survey of research into relationships between traffic accidents and traffic volumes*. Transport and Road Research Laboratory, SR 692. 43 p.
- Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (1992)** *Études préalables à des interventions sur l'infrastructure: guide méthodologique*, France, 436 p.
- Transportation Association of Canada (2001)** *The Canadian road safety audit guide*, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada.
- Transit New Zealand (1993)** *Safety audit policy and procedures*, Wellington, New Zealand.
- Transport Canada (2001)** *Canada's road safety targets to 2010*, Report TP 13736 E.
- Trinca, G., Johnston, I., Campbell, B., Haight, F., Knight, P., Mackay, M., McLean, J. et Petrucelli, E. (1988)** *Reducing traffic injury - A global challenge*, Melbourne, Australia. 136 p.
- Zegeer, C.V. (1986)** *Methods for identifying hazardous highway elements*, NCHRP Synthesis of Highway Practice 128, Transportation Research Board, Washington, DC. 80 p.

ANNEXE 5-1

Aspects méthodologiques

POPULATION DE RÉFÉRENCE ET POTENTIEL D'AMÉLIORATION

Plusieurs caractéristiques de la route ont une influence directe sur le risque d'accidents. Ainsi en milieu rural, les artères principales qui sont conçues et exploitées suivant des normes plus élevées que les routes secondaires, sont généralement plus sécuritaires, en terme de nombre d'accidents par véhicule-km (tableau 5-A1).

Le **niveau de sécurité** varie aussi à différents endroits d'une même route. Ainsi par exemple, les densités d'accidents sont en général moindre aux liens qu'aux nœuds, étant donné que le nombre de conflits de circulation est plus important à ces derniers endroits. Le niveau de sécurité varie aussi selon le type de noeud : par exemple, les taux d'accidents sont en général moins élevés aux intersections en T qu'à celles en croix pour la même raison, et ainsi de suite.

En conséquence, le potentiel d'amélioration peut varier de façon importante en fonction de la nature du site à l'étude et des modifications pouvant y être envisagées.

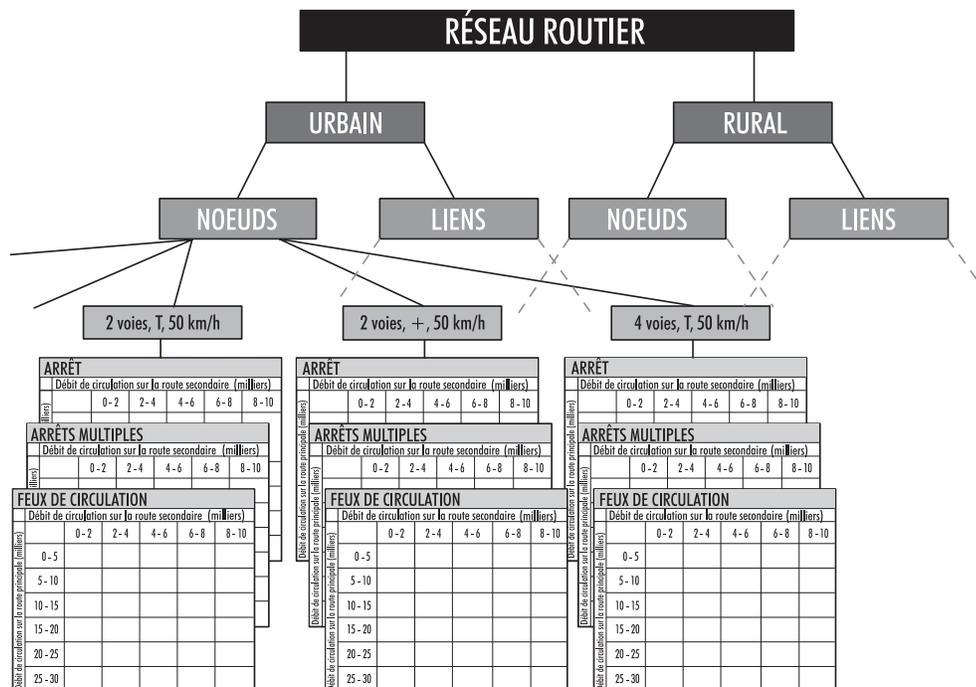
Différentes populations de référence devraient donc être définies afin de déterminer ce qui constitue le niveau de sécurité représentatif d'un type de site. Ces populations doivent tenir compte des principales caractéristiques de la route affectant la sécurité : on devrait ainsi définir une population de référence pour les intersections en croix à deux voies en zone urbaine avec arrêts sur les approches secondaires, une autre population pour les intersections en T situées sur le même type de routes, etc. Compte tenu de l'importance de la relation entre le débit de circulation et les accidents, il faut idéalement établir des populations de référence pour diverses combinaisons de classes de débits. La détermination des populations de référence exige des connaissances approfondies tant en sécurité routière que sur les caractéristiques du réseau et le contenu des bases de données qui limitent rapidement le nombre de populations distinctes pouvant être définies (figure 5-A1). En pratique, on a souvent recours à des modèles statistiques multivariés pour pallier ce manque de données.

Tableau 5-A1 Taux d'accidents par catégorie de route (É.-U.)

CATÉGORIE DE ROUTE (RURALE)	ACCIDENTS MORTELS PAR 100 Mvéh-km	ACCIDENTS AVEC BLESSURES PAR 100 Mvéh-km
AUTOROUTE	0,63	13
ARTÈRE	1,31	35
COLLECTRICE	1,81	59
LOCALE	2,26	109

Source : Highway Safety Design and Operations Guide, Copyright 1997, par l'American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reproduit avec permission.

Figure 5-A1 Choix des populations de référence



Potentiel d'amélioration – Exemple

On a vu à la **section 5.2.1**, que la différence entre le niveau de sécurité d'un site et le niveau de sécurité représentatif de sa population de référence est un indicateur du potentiel d'amélioration (P. A.) à ce site :

$$P.A._j = C I_j - C I_{p_r}$$

où :

$P.A._j$ = potentiel d'amélioration au site j
 $C I_j$ = valeur du critère d'identification au site j
 $C I_{p_r}$ = valeur moyenne du critère d'identification dans la population de référence

La méthode est illustrée par un exemple numérique basé sur le critère du taux d'accidents.

Supposons que le taux d'accidents moyen de trois populations de référence soit tel qu'indiqué au tableau 5-A2 :

Supposons aussi qu'à une intersection en T, le taux d'accidents soit de 1,0 acc./Mvéh-km.

Si on compare cette intersection en T à l'ensemble des intersections (en T et en + regroupées), son potentiel d'amélioration est négatif et elle n'est donc pas considérée comme étant problématique en termes de sécurité (P.A. = 1,0 - 1,1 = - 0,1 acc./Mvéh-km). Cependant, lorsqu'on la compare aux intersections en T uniquement, le potentiel d'amélioration devient positif et elle devrait en conséquence faire l'objet d'un **diagnostic de sécurité**, ce qui est ici une conclusion plus valable (P.A. = 1,0 - 0,8 = 0,2 acc./Mvéh-km).

Tableau 5-A2 Exemple – Taux d'accidents aux intersections

POPULATION DE RÉFÉRENCE	TAUX D'ACCIDENTS (acc./Mvéh-km)
en T, un arrêt, rural	0,8
en +, deux arrêts, rural	1,4
en T et en +, arrêt(s), rural	1,1

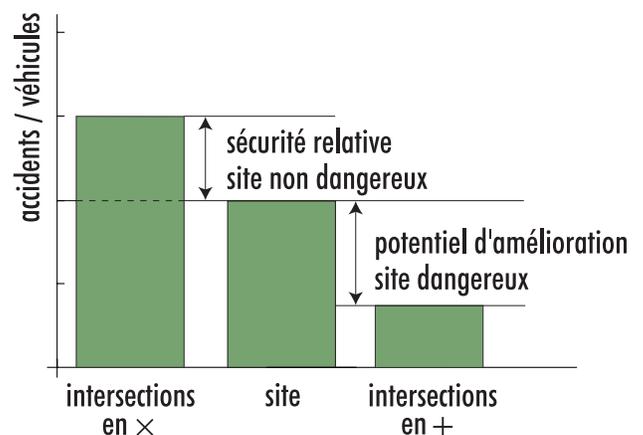
Limites de l'approche du « potentiel d'amélioration »

Les populations de références peuvent conduire au maintien de conditions hasardeuses

Poursuivons l'exemple précédent et supposons que dans ce même milieu rural, il y ait aussi un certain nombre d'intersections en X ayant un taux moyen d'accidents de 3,0 acc./Mvéh-km. Une intersection en X ayant un taux d'accidents de 2,5 acc./Mvéh-km pourrait donc être considérée adéquate si on la compare aux autres intersections en X. Mais est-il vraiment équitable pour les usagers ayant à circuler à un tel site d'y subir un risque aussi élevé (comparativement aux usagers qui n'ont pas à circuler à ce type d'intersection)?

Les analystes en sécurité doivent donc déterminer ce qui constitue des différences de niveaux de sécurité acceptables entre les différents types de sites (ou populations de référence) d'un réseau.

Figure 5-A2 Sécurité relative d'un site



Potentiel d'amélioration lors d'un changement de population de référence

Le potentiel d'amélioration estimé à un site quelconque peut être considérablement modifié si les mesures envisagées changent sa population de référence. Supposons par exemple que le taux d'accidents à une intersection en croix où circulent 7 500 véh./jour est de 2,0 acc./Mvéh-km. Si on la compare à des intersections similaires ayant un taux moyen d'accident de 1,4 acc./Mvéh-km (tableau 5-A2), le potentiel d'amélioration est de 0,6 acc./Mvéh-km - ce qui représente dans ce cas 1,8 accidents/an. Supposons aussi que le taux d'accidents à des carrefours giratoires situés dans des environnements similaires soit de 0,5 acc./Mvéh-km. Si le traitement envisagé pour cette intersection consiste à la transformer en carrefour giratoire, le potentiel d'amélioration augmente alors à 1,5 acc./Mvéh-km (ou 4,1 accidents/an).

Stratégies d'identification des lacunes de sécurité d'un réseau

Selon la discussion qui précède, il est évident qu'en dépit de ses avantages, une stratégie d'identification basée sur l'estimation du potentiel d'amélioration connaît certaines limites (comme toute autre stratégie d'ailleurs). Elle est très utile pour détecter **les pires sites d'une population de référence**, mais des stratégies complémentaires d'identification devraient aussi être envisagées :

- recherche des **pires sites d'un réseau** à partir de l'un ou l'autre des critères décrits à la **section 5.3.1** (p. ex. classement des sites en ordre décroissant de fréquence d'accidents, sans égard à la population de référence à laquelle ils appartiennent);
- recherche des **pires types de sites du réseau**, (p. ex. détermination des types de sites (ou populations de référence) ayant les pires performances en tant que groupe);
- évaluation de la **détérioration de sécurité à un site** entre deux périodes d'observation, en utilisant éventuellement le test de Poisson

[TEST DE POISSON ]

NATURE ALÉATOIRE DES ACCIDENTS

Il importe de distinguer deux notions :

fréquence d'accidents « f » et

fréquence moyenne d'accidents à long terme ou **niveau de sécurité « m »**, qui pourrait être calculée de façon exacte seulement si tous les facteurs ayant une influence sur l'occurrence des accidents demeuraient inchangés pendant plusieurs années.

Les décisions concernant la sécurité devraient être prises en fonction des valeurs estimées de m (\hat{m}) et non de celles de f .

L'une des difficultés associées à l'utilisation des données d'accidents pour identifier les problèmes de sécurité découle de la nature aléatoire de ces événements.

Pour faciliter l'explication de ce phénomène et de ses conséquences, nous utilisons l'analogie du dé à jouer. Le lancement d'un dé est un événement aléatoire dont le résultat dépend du nombre de ses faces et de la valeur de chaque face. Dans le cas d'un dé standard à six faces, la gamme des valeurs possibles est simple : [1, 2, 3, 4, 5, 6]. En lançant le dé un très grand nombre de fois, les résultats devraient être répartis de façon égale entre chacune de ces faces et la valeur moyenne obtenue sera donc de 3,5 : $(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6) / 6 = 3,5$. Cette valeur correspond à la « moyenne à long terme » du dé. Si au contraire le dé n'est lancé qu'à quelques reprises, trois fois par exemple, la moyenne obtenue pourra varier entre des valeurs extrêmes de 1 et de 6. Si ce résultat est utilisé pour estimer la moyenne à long terme du dé, le niveau de précision obtenu pourra être fort variable.

Il en est de même pour les fréquences d'accidents. Le nombre d'accidents pouvant survenir à un site donné durant une période d'un an (f) peut être comparé à un lancer du dé, alors que sa fréquence d'accidents à long terme (m) peut être comparée à la moyenne à long terme du dé. En termes statistiques, on dit que le lancer du dé suit une distribution uniforme tandis que les accidents, eux, suivent une distribution de Poisson.

Distribution de Poisson :

$$p(f;m) = \frac{e^{-m} m^f}{f!}$$

où :

- p(f;m)= probabilité d'observer f accidents si le niveau de sécurité est m
- f = fréquence d'accidents
- m = niveau de sécurité

Il s'agit là d'une équation fondamentale pour les analyses de sécurité routière. Elle permet de calculer la probabilité d'observer une fréquence d'accidents donnée (f) si le niveau de sécurité (m) est connu. Par exemple, pour une valeur m de 5 accidents/an, la probabilité d'avoir exactement 1 accident/an est de 3,4 % tandis que la probabilité d'en avoir 6 ou plus est de 38 % (figure 5-A3). L'utilitaire de calcul « test de Poisson » permet de calculer cette probabilité.

[TEST DE POISSON ]

Chaque site d'un réseau a son propre niveau de sécurité m qui dépend de l'ensemble de ses caractéristiques (poursuivant l'analogie du dé, on aurait plusieurs dés, chacun ayant un nombre distinct de faces et de valeurs).

Dans la pratique, le problème à résoudre est inverse : le niveau de sécurité (m) n'est pas connu, mais il doit être estimé (\hat{m}) à partir des fréquences d'accidents rapportées (f).

Un utilitaire de calcul est inclus au manuel pour estimer la valeur de m en fonction de fréquences d'accidents (Nicholson, 1987). Par exemple, si un total de 20 accidents est survenu à un site au cours d'une période de 3 ans, la valeur de m peut varier entre 4,4 à 9,7 accidents/an (intervalle de confiance de 90 %).

La précision de l'estimé de m augmente si la période d'accidents s'allonge, mais la valeur obtenue peut alors devenir moins représentative de la réalité actuelle si les conditions au site ont changé en cours de période. Pour éviter ce type de problème, on utilise souvent des **périodes d'accidents** relativement courtes.

[INTERVALLE DE CONFIANCE ]

Figure 5-A3 Distribution de Poisson (m = 5)

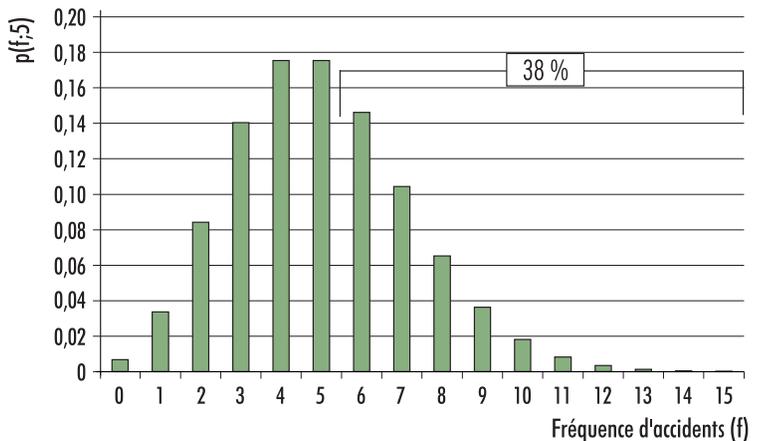


Figure 5-A4 Utilitaire de calcul Intervalle de confiance

Accidents

Intervalle de confiance

Nombre d'accidents dans la période : acc

Période d'analyse : an(s)

Niveau de confiance : %

Fréquence d'accidents : acc/an

Valeur de m inférieure : acc/an

Valeur de m supérieure : acc/an

Basé sur : Nicholson A. J., 1987

PÉRIODE D'ACCIDENTS

Tel que mentionné au paragraphe précédent, le choix de la période d'accidents peut fortement influencer la précision et la fiabilité des estimés de sécurité. Une période trop longue biaise les analyses si les conditions actuelles diffèrent de celles qui prévalaient lors des accidents. À l'inverse, une période trop courte réduit le nombre d'accidents considérés et la précision statistique. C'est dire qu'un compromis s'impose entre ces deux extrêmes.

Dans une étude abondamment citée, May (1964) a cherché à déterminer la période d'observation optimale en se basant sur l'analyse des données d'accidents survenus à 433 intersections, durant une période de 13 ans. Après avoir comparé la fréquence d'accidents moyenne pour différentes périodes à la fréquence d'accidents moyenne de toute cette période de 13 ans, il conclut qu'il y avait peu à gagner à prolonger la période d'observation au-delà de 3 ans. Il s'agit d'une période qui est encore souvent utilisée pour identifier les sites dangereux.

Hauer (1996) recommande de réexaminer cette pratique et d'allonger la période lorsque l'on peut vérifier que les facteurs ayant un impact sur les accidents (et leur taux de report) sont relativement stables. Avec les technologies informatiques actuelles, il est maintenant plus facile d'allonger les périodes sans nécessairement accroître de façon importante les coûts de manipulation de données.

Quoi qu'il en soit, les périodes d'accidents considérées doivent toujours être des multiples d'années complètes, pour éviter d'induire des erreurs attribuables à des variations saisonnières (saison de pluie, neige, vacances, etc.).

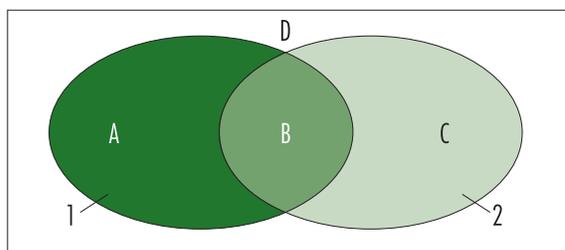
RÉGRESSION VERS LA MOYENNE

Ce phénomène, commun à plusieurs événements aléatoires, consiste en une tendance pour les valeurs extrêmes à revenir à des valeurs moyennes. Sir Francis Galton fut le premier à reconnaître cette tendance au 19^e siècle, en notant que les enfants de parents très grands sont en général plus petits et inversement. Le phénomène s'applique aussi aux accidents : lorsque la fréquence d'accidents est anormalement élevée à un site pendant une période, elle a tendance à diminuer au cours de la période suivante, pour se rapprocher de la moyenne à long terme du site (et inversement). Voir détails à la [section 8.3.2](#).

BIAIS DE SÉLECTION

La *nature aléatoire des accidents* et l'impossibilité d'allonger les *périodes d'accidents* autant qu'il le faudrait pour obtenir une précision suffisante créent deux types de biais à l'étape de l'identification : certains sites normaux sont détectés comme étant dangereux tandis que certains sites dangereux ne sont pas détectés. La figure 5-A5 ci-dessous, tirée de Hauer et Persaud (1984), illustre le problème. Le rectangle représente l'ensemble des sites d'un réseau routier. L'ellipse 1 représente tous les sites dangereux (ceux ayant une valeur m élevée), les seuls où une intervention est justifiée. L'ellipse 2 représente les sites détectés comme étant dangereux (ceux ayant une valeur f élevée). Quatre situations peuvent donc se présenter (domaines A à D) :

Figure 5-A5 Biais de sélection



- A : sites dangereux non détectés
- B : sites dangereux détectés comme étant dangereux
- C : sites normaux détectés comme étant dangereux
- D : sites normaux non détectés

À l'étape d'identification, l'objectif est d'obtenir la meilleure superposition possible des ellipses 1 et 2 et de limiter les domaines A et C. Les techniques d'identification qui tiennent compte de la nature aléatoire des accidents permettent de réduire les biais de sélection ([section 5.3.1](#)).

TAUX D'ACCIDENTS – HYPOTHÈSE DE LINÉARITÉ (suivant Mahalel, 1986)

Le taux d'accidents est souvent utilisé pour comparer la performance de sécurité de deux sites ou entités routières, bien que les résultats de cette comparaison soient inexacts si la relation entre débits de circulation et accidents n'est pas linéaire. Le problème est décrit dans les paragraphes suivants.

Note:

Le taux d'accidents calculé à un débit de circulation donné correspond, sur les graphiques 5-A6 et 5-A7 ci-dessous, à la pente entre le point d'origine (0,0) et le point correspondant à cette valeur de débit sur la courbe (ou la droite). La figure 5-A7 montre, en traits pointillés, les pentes (taux d'accidents) aux points A et B.

Cas 1 : Relation linéaire entre fréquence d'accidents et débit de circulation (taux d'accidents constant)

Supposons que sur deux routes distinctes, la relation entre fréquence d'accidents et débit de circulation soit linéaire, tel qu'illustré à la figure 5-A6. Pour des débits identiques, la fréquence d'accidents sur la route 1 est toujours inférieure à celle de la route 2. La route 1 est donc plus sécuritaire.

Dans le cas de relations linéaires entre débit et accidents, les taux d'accidents sont constants. Pour l'exemple de la figure 5-A6, le taux d'accidents de la route 1 est donc toujours inférieur au taux d'accidents de la route 2, même si les débits de circulation diffèrent sur les deux routes. Le taux d'accidents peut donc être utilisé pour comparer la sécurité sur ces deux routes.

Cas 2 : Relation non linéaire entre fréquence d'accidents et débit de circulation (taux d'accidents non constant)

La situation peut être différente si la relation entre fréquence d'accidents et débit de circulation n'est pas linéaire, tel qu'illustré à la figure 5-A7. Ici encore, les fréquences d'accidents sur la route 1 sont toujours moindres que celles de la route 2 lorsque les débits sont identiques. La route 1 est donc plus sécuritaire. On peut cependant en conclure autrement si les débits de circulation sont différents sur les deux routes à l'étude. Le problème est illustré à l'aide de l'exemple suivant.

Supposons que 2 000 v/j circulent sur la route 1 et 8 000 v/j, sur la route 2. Le taux d'accidents sur la route 1 (pente au point A de la figure 5-A7) est ici plus élevé que celui de la route 2 (pente au point B de la figure 5-A7). D'après le critère du taux d'accidents, la route 1 est donc jugée moins sécuritaire que la route 2, ce qui est une erreur.

On ne devrait utiliser les taux d'accidents pour comparer la sécurité de deux routes que si les relations entre débits de circulation et accidents sont approximativement linéaires.

Figure 5-A6 Relation linéaire entre accidents et débits

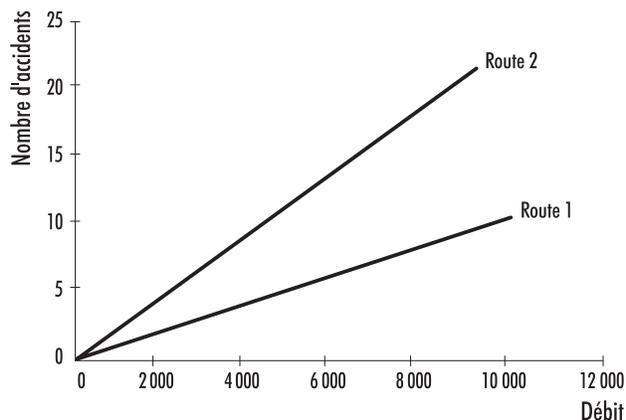
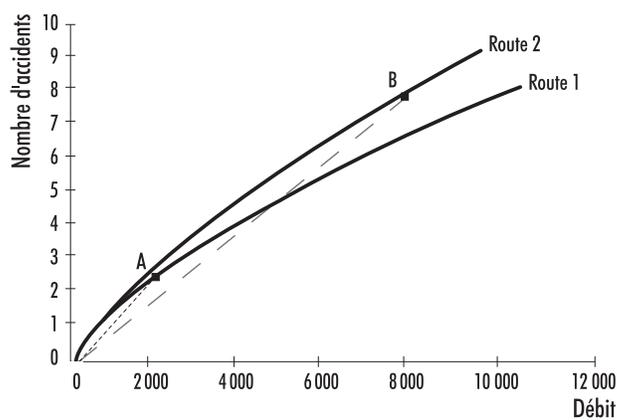


Figure 5-A7 Relation non linéaire entre accidents et débits



TAUX D'ACCIDENTS CRITIQUE – HYPOTHÈSE DE LINÉARITÉ

Comme pour le taux d'accidents, les résultats obtenus avec le taux d'accidents critique peuvent être inexacts si la relation entre le débit de circulation et les accidents n'est pas linéaire. Le calcul du taux critique est en effet basé sur l'hypothèse d'un taux d'accidents moyen ($T_{p,r}$) constant, ce qui implique une relation linéaire entre la fréquence d'accidents et le débit de circulation.

Le problème est illustré à la figure 5-A8 qui montre les courbes des taux moyens.

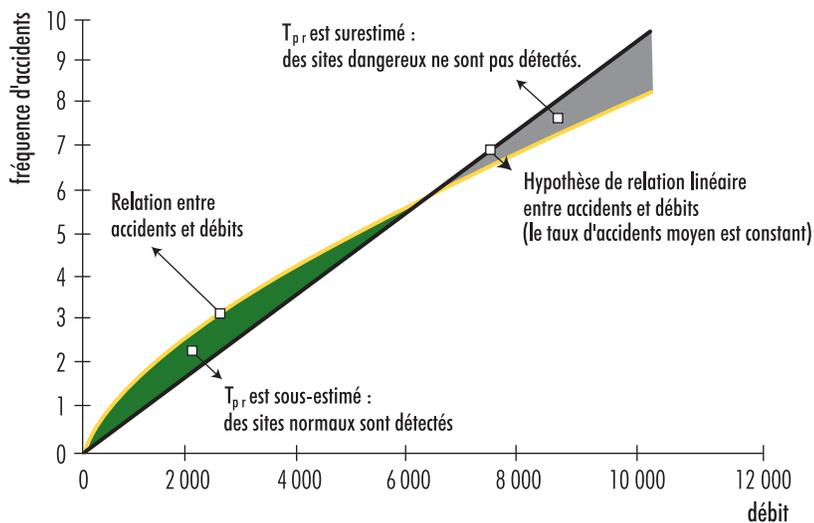
- La ligne noire suppose une relation linéaire entre le débit et le nombre d'accidents, tel que supposé pour la valeur du $T_{p,r}$ dans le calcul du taux critique.
- Supposons que la courbe jaune illustre la relation exacte entre accidents et débits pour ce type de route.

Deux cas peuvent se présenter :

- Dans la zone verte, le taux moyen ($T_{p,r}$) est sous-estimé, ce qui a pour effet de diminuer la valeur du taux critique. En conséquence, des sites non dangereux peuvent être détectés comme étant dangereux.
- Dans la zone grise, le taux moyen ($T_{p,r}$) est surestimé et des sites dangereux peuvent ne pas être détectés.

Tout comme le taux d'accidents, le taux d'accidents critique ne devrait être utilisé que si la relation entre débits de circulation et nombre d'accidents est approximativement linéaire.

Figure 5-A8 Taux d'accidents critique – Hypothèse de linéarité



ANNEXE 5-2

Exemple

TABLEAU 5-A3 EXEMPLE – DONNÉES D'ACCIDENTS (01/01/98 À 31/12/00)

1	2	3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25																							
		FRÉQUENCE					SURFACE					TYPE D'ACCIDENTS													
		Total	Mortel	Grave	Léger	DMS	Sèche	Mouillée	Glacée	Autre	Voies parallèles, en tournant	Changement de voie	Intersection, approches adjacentes	Collision avec obstruction permanente	Sortie de route en tangente	Sortie de route en tangente, heurt d'un objet	Perte de maîtrise, en tangente	Sortie de route en courbe	Sortie de route en courbe, heurt d'un objet	Perte de maîtrise en courbe	Heurt d'un animal	Collision arrière	Véhicules tournant sens opposés	Collision frontale	
1	6 050	9	1	1	3	4	5	3	1																
2	800	1			1		1																	2	2
3	8 500	7		2		5	5	2																	
4	4 500	5		1	1	3	3	2																	
5	4 500	6				6	6																		
6	6 800	7			1	6	1	3	2	1	2														1
7	1 000	2			1	1		1		1															
8	2 200	3			1	2	1	2																	1
9	2 500	0																							
10	5 400	14	1		3	10	10	2		2	1														3
11	4 200	6				6	2	2	1	1															
12	7 400	9		1	3	5	4	4		1															1
13	1 900	3		2	1	1	1	1																	1
14	1 400	1				1	1																		
15	4 000	6		1	2	3	4	1		1															2
16	8 000	7	1		2	4	2	2		3															1
17	2 500	3		1		2	2	1	2																
18	1 500	2				2	2																		
19	4 150	0																							
20	5 700	7			3	4	6	1																	1
21	4 700	5		1	2	2	3	1	1																2
22	5 400	4				4	1	3																	
23	3 400	5		1	1	3	3	1	1																
24	3 700	2				2	2																		
25	4 000	4			2	2	2	2																	1
26	3 200	3			3	3																			
27	4 400	5		1	2	2	1		4																
28	4 500	1				1	1																		
29	4 300	4	1			3	3	1																	
30	3 600	5			1	4	1	1	3																
31	3 700	0																							
32	7 500	6				6	3	2	1																2
33	1 300	3		1	1	1	2	1																	1
34	3 150	0																							
35	1 700	4				4	2		1	1															
36	5 700	8				8	4	3	1																
37	6 500	5				5	3	1		1															
38	2 500	3				3	3																		
39	800	2				2	1	1																	
40	4 200	4			2	2	4																		
41	7 950	7		1	1	5	2	3	2																1
42	1 950	2				2		1		1															1
43	4 500	4				4	3	1																	
44	3 800	3			2	1	2		1																
45	6 900	12		1	4	7	5	7																	
46	2 600	4				4	3	1																	
47	7 100	8			2	6	5	1	1	1															
48	7 900	9			2	7	7	1	1																1
49	5 400	5	1	1		3	3	2																	
50	3 800	4				4	2		1	1															
51	7 500	7			1	6	2	3	1	1															
52	8 500	10		1	3	6	8	2																	2
53	4 000	3				3	3																		
54	5 600	5			2	3	2	1	1	1															1
55	3 600	4			1	3	2	2																	
	TOTAL	258	5	15	52	186	145	69	30	14	19	19	36	8	16	13	8	8	11	10	11	51	22	26	

TABLEAU 5-A4 EXEMPLE – RÉSULTATS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Numéro de section	Q (DJMA)	Fréquence d'accidents	Taux d'accidents	Taux d'accidents critique	IEDMS	IEDMS	IGR	IGR	f_p	P.A. (modèle)	f_{EB}	P.A. (méthode EB)
1	6050	9	2,72	2,89	33,5	3,72	1 634 100	181 566	6,07	2,93	6,72	0,65
2	800	1	2,28	5,27	3,5	3,50	173 200	173 200	1,31	-0,31	2,96	164
3	8500	7	1,50	2,72	24	3,43	1 070 800	152 971	7,84	-0,84	5,78	-2,07
4	4500	5	2,03	3,07	16	3,20	735 500	147 100	4,85	0,15	4,84	-0,01
5	4500	6	2,43	3,07	6	1,00	1 054 400	175 733	4,85	1,15	5,31	0,46
6	6800	7	1,88	2,83	9,5	1,36	1 189 400	169 914	6,63	0,37	5,78	-0,85
7	1000	2	3,65	4,81	4,5	2,25	306 000	153 000	1,56	0,44	3,43	1,87
8	2200	3	2,49	3,67	5,5	1,83	592 300	197 433	2,82	0,18	3,90	1,07
9	2500	0	0,00	3,54	0	0,00	0	0	3,11	-3,11	2,49	-0,62
10	5400	14	4,73	2,95	30	2,14	2 707 500	193 392	5,57	8,43	9,06	3,50
11	4200	6	2,61	3,11	6	1,00	870 000	145 000	1,40	1,40	5,31	0,70
12	7400	9	2,22	2,78	25	2,78	1 445 200	160 577	7,06	1,94	6,72	-0,35
13	1900	3	2,88	3,84	8	2,67	668 400	222 800	2,53	0,47	3,90	1,37
14	1400	1	1,30	4,24	1	1,00	206 600	206 600	2,01	-1,01	2,96	0,95
15	4000	6	2,74	3,15	19,5	3,25	1 249 000	208 166	4,44	1,56	3,51	0,87
16	8000	7	1,60	2,75	20,5	2,93	1 183 800	169 114	7,49	-0,49	5,78	-1,72
17	2500	3	2,19	3,54	11,5	3,83	445 100	148 366	3,11	-0,11	3,90	0,79
18	1500	2	2,43	4,14	2	1,00	319 300	159 650	2,11	-0,11	3,43	1,31
19	4150	0	0,00	3,12	0	0,00	0	0	4,56	-4,56	2,49	-2,07
20	5700	7	2,24	2,92	14,5	2,07	1 252 200	178 885	5,80	1,20	5,78	-0,02
21	4700	5	1,94	3,04	18,5	3,70	1 035 400	207 080	5,01	-0,01	4,84	-0,18
22	5400	4	1,35	2,95	4	1,00	759 600	189 900	5,57	-1,57	4,37	-1,20
23	3400	5	2,68	3,27	16	3,20	607 000	121 400	3,92	1,08	4,84	0,91
24	3700	2	0,99	3,20	2	1,00	282 900	141 450	4,18	-2,18	3,43	-0,76
25	4000	4	1,83	3,15	9	2,25	883 300	220 825	4,44	-0,44	4,37	-0,07
26	3200	3	1,71	3,32	3	1,00	352 200	117 400	3,75	0,75	3,90	0,15
27	4400	5	2,07	3,08	18,5	3,70	734 400	146 880	4,77	0,23	4,84	0,07
28	4500	1	0,41	3,07	1	1,00	104 600	104 600	4,85	3,85	2,96	-1,89
29	4300	4	1,70	3,10	12,5	3,13	502 300	125 575	4,69	-0,69	4,37	-0,32
30	3600	5	2,54	3,22	7,5	1,50	751 300	150 260	4,10	0,90	4,84	0,74
31	3700	0	0,00	3,20	0	0,00	0	0	4,18	4,18	2,49	-1,70
32	7500	6	1,46	2,78	6	1,00	1 252 200	208 700	7,14	1,14	5,31	-1,83
33	1300	3	4,21	4,36	14	4,67	711 600	237 200	1,90	1,10	3,90	2,00
34	3151	0	0,00	3,33	0	0,00	0	0	3,70	3,70	2,49	-1,22
35	1700	4	4,29	3,98	4	1,00	450 800	112 700	2,32	1,68	4,37	2,04
36	5700	8	2,56	2,92	8	1,00	1 140 400	142 550	5,80	2,20	6,25	0,45
37	6500	5	1,40	2,85	5	1,00	741 700	148 340	6,40	-1,40	4,84	-1,57
38	2500	3	2,19	3,54	3	1,00	559 300	186 433	3,11	-0,11	3,90	0,79
39	800	2	4,56	5,27	2	1,00	331 800	165 900	1,31	0,69	3,43	2,11
40	4200	4	1,74	3,11	9	2,25	574 500	143 625	4,60	-0,60	4,37	-0,24
41	7950	7	1,61	2,75	18	2,57	1 155 900	165 128	7,46	-0,46	5,78	-1,68
42	1950	2	1,87	3,81	2	1,00	474 400	237 200	2,58	-0,58	3,43	0,85
43	4500	4	1,62	3,07	4	1,00	574 000	143 500	4,85	-0,85	4,37	-0,48
44	3800	3	1,44	3,18	8	2,67	365 500	121 833	4,27	-1,27	3,90	-0,37
45	6900	12	3,17	2,82	30,5	2,54	1 878 200	156 516	6,70	5,30	8,12	1,42
46	2600	4	2,81	3,50	4	1,00	447 400	111 850	3,20	0,80	4,37	1,16
47	7100	8	2,06	2,80	13	1,63	1 117 300	139 662	6,85	1,15	6,25	-0,60
48	7900	9	2,08	2,75	14	1,56	1 321 700	146 855	7,42	1,58	6,72	-0,71
49	5400	5	1,69	2,95	22	4,40	704 900	140 980	5,57	-0,57	4,84	-0,73
50	3800	4	1,92	3,18	4	1,00	474 800	118 700	4,27	-0,27	4,37	0,10
51	7500	7	1,70	2,78	9,5	1,36	1 019 000	145 571	7,14	-0,14	5,78	-1,36
52	8500	10	2,15	2,72	26	2,60	1 832 400	183 240	7,84	21,6	7,19	-0,66
53	400	3	1,37	3,15	3	1,00	354 600	118 200	4,44	-1,44	3,90	-0,54
54	5600	5	1,63	2,93	10	2,00	921 300	184 260	5,72	-0,72	4,84	-0,89
55	3600	4	2,03	3,22	6,5	1,63	487 400	121 850	4,10	-0,10	4,37	0,27

CHAPITRE 6

Diagnostic

Carl Bélanger

CHAPITRE 6

Diagnostic

	Page
INTRODUCTION	154
6.1 HISTORIQUE DU SITE	157
6.2 CATEGORISATION DU SITE	158
6.3 ANALYSE DES ACCIDENTS	159
→ 6.3.1 Comprendre l'accident	159
→ 6.3.2 Analyse statistique des accidents	162
6.4 OBSERVATIONS AU SITE	167
→ 6.4.1 Préparatifs	170
→ 6.4.2 Familiarisation avec le site	171
→ 6.4.3 Observations détaillées	172
→ 6.4.4 Relevés additionnels	173
6.5 CONCLUSION	176
REFERENCES	177
ANNEXES	179
→ Annexe 6-1 Notes complémentaires	179
→ Annexe 6-2 Tables d'accidents	191
→ Annexe 6-3 Listes de vérification	211
→ Annexe 6-4 Exemple	241

LISTE DES FIGURES		
Figure 6-1	Processus de diagnostic	154
Figure 6-2	Détection – Problèmes de sécurité	155
Figure 6-3	Chaîne d'événements et circonstances d'un accident	160
Figure 6-4	Exemple – Scénario d'accident	161
Figure 6-5	Arbre de défaillances – Sorties de route	161
Figure 6-6	Exemple – Répétition d'un même facteur contributif	162
Figure 6-7	Schéma d'accidents	164
Figure 6-8	Procédure – Observations au site	168
Figure 6-9	Exemples – Problèmes évidents pouvant être détectés lors de la familiarisation	171
Figure 6-10	Exemples – Schéma d'aménagement	173
Figure 6-A1	Classification fonctionnelle	181
Figure 6-A2	Cohérence de l'environnement routier	183
Figure 6-A3	Modèles de classification routière	184
Figure 6-A4	Espaces de circulation et types de routes	184
Figure 6-A5	Exemples – Problèmes de cohérence	185
Figure 6-A6	Charge d'information d'un conducteur	187
Figure 6-A7	Temps de réaction	187
Figure 6-A8	Exemples – Violations des attentes des conducteurs	189

LISTE DES TABLEAUX		
Tableau 6-1	Exemples – Mesures pouvant influencer la sécurité routière	156
Tableau 6-2	Rapport d'accident – Informations pouvant révéler des déficiences de la route	162
Tableau 6-3	Exemple – Tableau sommaire	164
Tableau 6-4	Exemple – Proportions d'accidents aux intersections en croix	165
Tableau 6-5	Exemple – Tableau comparatif des accidents	165
Tableau 6-A1	Classification fonctionnelle - Caractéristiques des routes	182

INTRODUCTION

Ce chapitre explique comment effectuer un diagnostic de sécurité au niveau de l'infrastructure routière, ce qui consiste à :

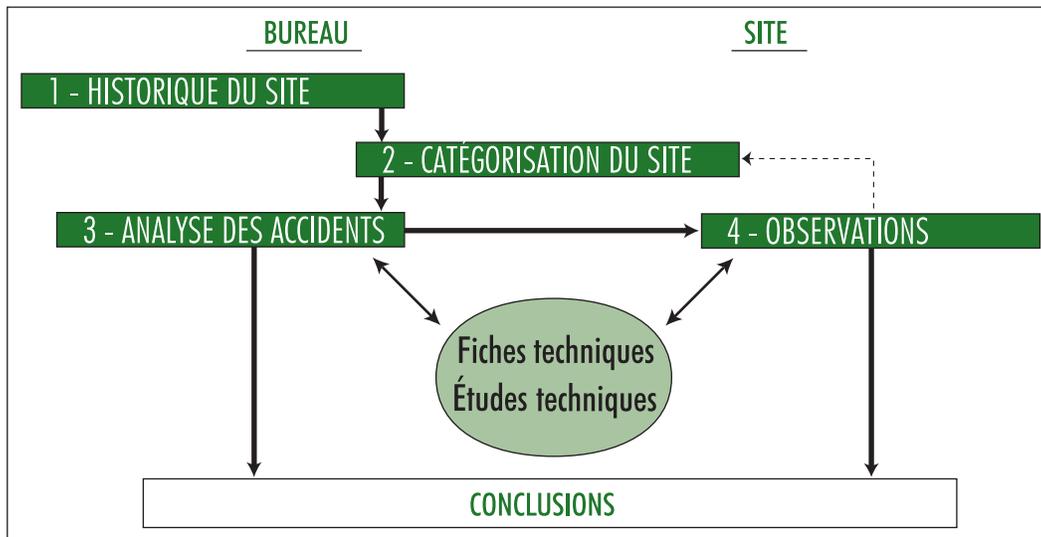
- déterminer la nature des problèmes de sécurité;
- rechercher les facteurs contribuant à ces problèmes;
- déterminer si certaines caractéristiques de l'infrastructure peuvent être modifiées pour améliorer la sécurité de façon efficace.

Tel qu'illustré à la figure 6-1, la tâche de diagnostic est décrite sous forme d'un processus qui compte quatre principales étapes :

- 1) vérification de l'information déjà disponible (historique du site);
- 2) détermination de la catégorie du site;
- 3) analyse des accidents;
- 4) observations au site.

En cours de diagnostic, les analystes pourront avoir à consulter des références techniques, afin de mieux comprendre si une composante de la route peut contribuer au problème ou à sa solution. La troisième partie du manuel (*fiches techniques*) décrit en détails la contribution de plusieurs composantes de la route (tracé en plan, profil en long, intersections, etc.). Il peut aussi s'avérer nécessaire d'effectuer certains relevés techniques afin de recueillir des données qui permettront de progresser dans l'analyse. La quatrième partie du manuel (*relevés techniques*) décrit comment effectuer plusieurs de ces relevés : vitesse instantanée, relevé de circulation, etc.

Figure 6-1 Processus de diagnostic

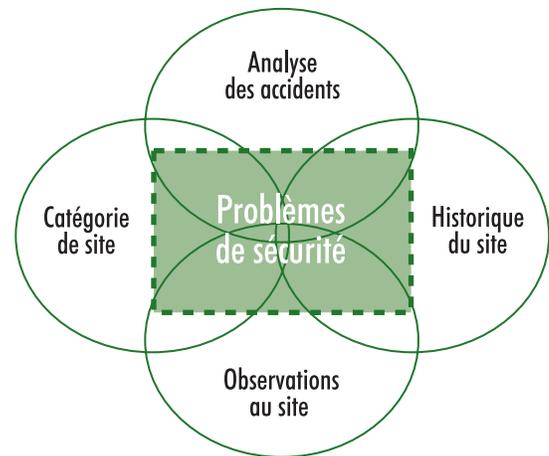


Ce processus est particulièrement adapté à l'analyse de points noirs, qui est généralement le premier type d'intervention mis en oeuvre par une administration routière pour réduire les accidents. Cependant, les méthodes et outils proposés dans ce chapitre peuvent aussi servir à :

- l'examen de sites de plus grande dimension où il se produit des concentrations anormales d'accidents;
- l'examen du niveau de sécurité de caractéristiques spécifiques de la route (un tracé en plan, des conditions de la surface de roulement, etc.);
- l'analyse de la performance de sécurité de sites lorsque les données d'accidents ne sont pas disponibles.

Certains des résultats obtenus à chacune des quatre étapes du diagnostic peuvent être identiques. Ainsi, par exemple, une courbe horizontale déficiente pourra sans doute être détectée à l'étape de l'analyse des accidents (proportion importante d'accidents à un seul véhicule) et à celle des observations au site (courbe raide isolée). Dans d'autres cas, les conclusions seront complémentaires : l'analyse des accidents pourra par exemple détecter une concentration de collisions de nuit, ce qui attirera l'attention de l'analyste sur des problèmes qui n'auraient sans doute pas été détectés lors d'une visite des lieux effectuée de jour. C'est dire qu'il importe d'exécuter l'ensemble des étapes du processus décrit dans ce chapitre, même si on croit avoir trouvé une solution dans les phases initiales d'analyse (figure 6-2).

Figure 6-2 Détection – Problèmes de sécurité



Comme chaque site est caractérisé par une combinaison de caractéristiques, d'usagers et de véhicules qui lui sont uniques, la liste de problèmes potentiels et de solutions envisageables est très longue. L'analyste doit vérifier, lors d'un diagnostic de sécurité, les points suivants (voir détails en **annexe 6-1**) :

- les écarts entre les caractéristiques du site et les normes et pratiques établies;
- le niveau de complexité de la tâche de conduite et le respect des attentes des conducteurs;
- le niveau de cohérence global de l'environnement routier.

Dans certains cas, les actions souhaitables pourront déborder du domaine de l'ingénierie routière car tel qu'indiqué au **tableau 2-3**, l'éventail de mesures pouvant être envisagées pour améliorer la sécurité est très large. Il faut en ce sens reconnaître que les diagnostics de sécurité requièrent des connaissances de base dans plusieurs domaines qui débordent clairement du génie routier (facteurs humains, génie mécanique, statistiques, etc.). L'analyste doit être en mesure de déterminer si les solutions les plus appropriées ont trait à l'infrastructure ou à d'autres composantes du système de sécurité.

Lors de l'analyse de cas complexes, pour lesquels il ne peut trouver de solution évidente, l'analyste devra faire appel à des équipes d'experts multidisciplinaires qui seront plus à même de comprendre les problématiques rencontrées et de proposer des solutions qui y sont adaptées (**étude détaillée des accidents**). Il faut en ce sens s'assurer de la mise en place de structures de coordination et canaux de communication efficaces entre les différents organismes devant jouer un rôle actif dans l'amélioration de la sécurité, de façon à faciliter les échanges constructifs pouvant mener à la mise en œuvre de solutions optimales (**chapitre 2**).

En ce qui concerne le volet plus spécifique du génie routier, il faut aussi garder à l'esprit que les problèmes peuvent provenir de différentes étapes de développement et d'opération d'un réseau, à savoir : la planification des systèmes de transports, la conception routière, la réalisation des projets, l'exploitation des réseaux et leur entretien. Quelques exemples sont énumérés à la page suivante.

La capacité à établir un bon diagnostic de sécurité dépend donc fortement de l'expérience et du jugement éclairé de l'analyste qui aura appris à reconnaître, au fil des analyses, les situations pouvant être à risque. Il est clair qu'aucun manuel ne peut entièrement inculquer cette connaissance mais la démarche proposée dans ce chapitre devrait aider les analystes de moins d'expérience à mieux comprendre les principes de base et l'aspect logique de leur travail.

Origine des problèmes de sécurité

Ces problèmes peuvent être attribuables à des décisions prises à diverses étapes du développement et de l'exploitation d'un réseau routier - planification, conception, construction, exploitation ou entretien. L'analyste effectuant un diagnostic de sécurité doit bien comprendre l'origine des problèmes car ce n'est souvent qu'en remontant directement à ce niveau qu'il pourra trouver des solutions efficaces et durables.

Tableau 6-1 Exemples - Mesures pouvant influencer la sécurité routière

STAGE	EXEMPLES
PLANIFICATION	<p>Une action concertée entre les planificateurs de l'utilisation des sols et les planificateurs des réseaux de transports peut aider à limiter les déplacements et les risques associés.</p> <p>Le recours à des modes de transport plus sécuritaires que l'automobile ou le camion (p. ex. transport en commun, transport ferroviaire ou transport maritime) améliore la sécurité.</p> <p>Le développement d'un bon système de classification routière peut contribuer à réduire les usages incompatibles de la route (de façon générale, on tentera d'éviter les situations où des usagers ayant des masses ou des vitesses très différentes ont à partager une même route).</p>
CONCEPTION	<p>Pour les routes ayant une fonction de mobilité, il existe une relation directe entre le niveau des normes géométriques utilisées au moment de la conception et la sécurité routière. Pour celles ayant une fonction d'accès, le choix et l'agencement des caractéristiques géométriques doivent favoriser l'adoption de vitesses peu élevées, qui sont nécessaires pour que les manœuvres d'accès à la route et aux propriétés riveraines puissent s'effectuer en sécurité.</p> <p>Les normes de conception routière doivent prendre en compte les exigences de sécurité de tous les usagers de la route, et en particulier, celles des piétons et des cyclistes, plus susceptibles de subir des traumatismes routiers.</p> <p>L'erreur humaine, souvent mentionnée comme cause principale des accidents de la route, peut résulter de caractéristiques routières inadéquates qui augmentent les probabilités d'erreur humaine ou de comportement inadéquat (p. ex. vitesse excessive, inattention).</p>
CONSTRUCTION	<p>Certaines erreurs de construction (p. ex. rayon de courbure irrégulier, agrégats de surface à usure rapide, installation incorrecte d'une glissière de sécurité) ont une influence négative sur la sécurité.</p> <p>Lors des travaux de construction, des mesures adéquates doivent être prises pour assurer la sécurité des usagers de la route et des ouvriers. Les accidents de la route dans les zones de travaux sont un problème important dans plusieurs pays.</p>
EXPLOITATION ENTRETIEN	<p>Avec les années, certaines caractéristiques de la route ou de la circulation peuvent se dégrader, avec des impacts néfastes sur la sécurité : ajout de points d'accès sur une route de mobilité, dégradation des équipements existants, nouveaux obstacles visuels, etc.</p>

La détection de ces différents types de problèmes nécessite un large éventail de connaissances. En fonction de leurs formation et de leurs expériences, les ingénieurs en transports, qui sont le plus souvent ceux effectuant les diagnostics de sécurité, sont généralement en mesure de détecter plusieurs types de problèmes de conception, de construction, d'exploitation ou d'entretien. Il pourra cependant leur être plus difficile de détecter les problèmes qui découlent d'erreurs de planification et certaines erreurs de conduite résultant d'une prise en compte inadéquate des capacités et des limites des usagers de la route. **L'annexe 6-1** présente des informations de base sur ces deux sujets et illustre certains problèmes fréquents.

Outils de diagnostic contenus dans ce manuel :

Chapitre 6

Corps du chapitre	description de chaque étape du processus illustré à la figure 6-1 .
Notes complémentaires (annexe 6-1)	discussion plus approfondie de quelques concepts importants, devant être pris en compte lors de la réalisation d'un diagnostic de sécurité routière.
Tables d'accidents (annexe 6-2)	tables de facteurs contributifs possibles et solutions envisageables pour divers types d'accidents.
Listes de vérification (annexe 6-3)	description, sous forme de liste de vérification, des étapes d'un diagnostic de sécurité.
Fiches techniques	relations entre certaines composantes de la route et la sécurité (tracé en plan, profil en long, état de la surface de roulement, etc.).
Études techniques	description des méthodes de réalisation d'études techniques pouvant être requises lors de diagnostics de sécurité (vitesse instantanée, relevé de circulation, etc.).

6.1 HISTORIQUE DU SITE

Des renseignements concernant le site étudié peuvent être disponibles avant même d'amorcer le diagnostic. Il peut s'agir de :

- bases de données (accidents, caractéristiques géométriques, inventaire des panneaux de signalisation, débits de circulation, etc.);
- photos, vidéos;
- résultats d'études techniques (vitesses instantanées, distances de visibilité, etc.);
- rapports antérieurs (de sécurité, d'entretien, etc.);
- connaissances des employés;
- demandes et plaintes de l'extérieur;
- etc.

Tous ces renseignements doivent être regroupés et analysés en début d'étude, dans le but de :

- connaître les problèmes déjà identifiés et les actions prises dans le passé;
- éviter de doubler les efforts : si aucun changement majeur n'est survenu au site, il se peut que certains relevés techniques disponibles n'aient pas à être répétés.

6.2 CATÉGORISATION DU SITE

Ce qui constitue une caractéristique routière hasardeuse ou un comportement de conduite à risque dépend largement de l'environnement routier où on l'observe. Ainsi, le même rayon de courbe raide peut être un élément hasardeux sur une route rurale (accroît le risque de sortie de route) mais constituer un élément positif pour la sécurité en milieu résidentiel (en faisant office de régulateur de vitesse). À l'inverse, le risque associé à une vitesse de 100 km/h peut être faible sur une route rurale dotée de bonnes caractéristiques géométriques, mais serait extrêmement élevé en zone résidentielle. La même logique s'applique lorsqu'il s'agit de déterminer ce qui constitue une proportion « normale » d'un type d'accident particulier, puisque cette proportion varie largement en fonction de la catégorie de site considéré (*tableaux comparatifs des accidents*).

C'est dire qu'il importe de déterminer, dès l'amorce du diagnostic, à quelle catégorie appartient le site étudié, puisqu'il s'agit d'une information qui sera utile tout au long de la recherche de problèmes et solutions. Pour les fins d'une étude de sécurité, la catégorie d'un site n'est pas uniquement fonction de la classe de route à laquelle il appartient dans le système de classification routière, car elle doit aussi tenir compte de certains paramètres importants qui influencent la sécurité (p. ex. intersection en T ou en croix, contrôlée par des panneaux d'arrêts ou des feux de circulation, etc.).

Comment utiliser la catégorisation de site lors du diagnostic de sécurité?

- 1) déterminer la catégorie de site;
- 2) à l'étape 6.3 (analyse des accidents), choisir une *population de référence*, en fonction de cette catégorie de site, qui servira à comparer les caractéristiques des accidents au site à celles observées à des sites semblables, afin de détecter les concentrations atypiques d'accidents;
- 3) à l'étape 6.4 (observations au site), se référer à la catégorie de site étudié pour vérifier la conformité aux normes et le niveau de *cohérence* global de l'environnement routier. Il faut aussi vérifier si les problèmes fréquemment rencontrés aux sites de cette catégorie le sont au site à l'étude;
- 4) enfin, utiliser la catégorie du site pour sélectionner des traitements adaptés au contexte.

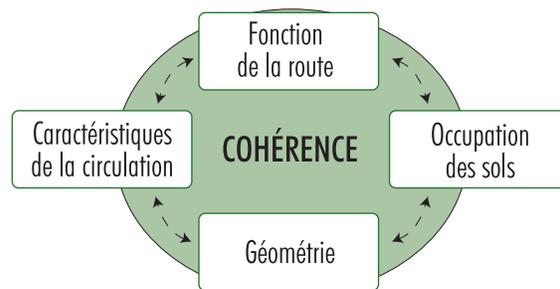
Les listes de vérification de l'*annexe 6-3* intègrent ces différentes tâches.

Les catégories de routes existantes sont-elles appropriées?

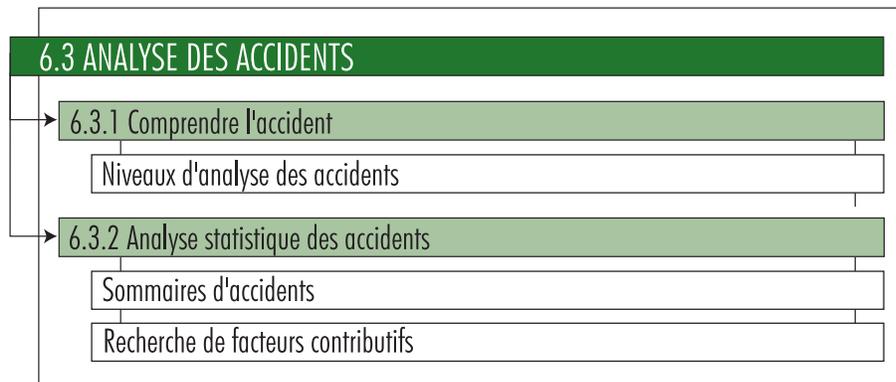
Les caractéristiques prévues pour chaque catégorie de route sont décrites dans les normes de conception routière d'un pays. L'application de ces normes devrait conduire à la création d'environnements routiers qui sont compatibles avec les objectifs de mobilité et de sécurité établis. Des recherches et développements récents montrent cependant que dans bien des cas, des routes peuvent répondre aux exigences de leur catégorie sans pour autant avoir le niveau de cohérence nécessaire pour permettre des déplacements sécuritaires. Si tel est le cas, une révision du système de classification routière en vigueur s'impose (voir *annexe 6-1* pour plus de détails).

Il faut aussi s'assurer de la mise en place et de l'application de mécanismes de contrôle favorisant le maintien, dans le temps, de conditions routières qui étaient à l'origine sécuritaires (p. ex. contrôle des accès, planification intégrée du territoire et du transport).

Bien qu'il s'agisse de sujets qui débordent clairement du cadre de ce chapitre, ils constituent néanmoins des éléments essentiels à la mise en place de conditions pouvant minimiser les problèmes de sécurité routière dans une perspective à long terme.



6.3 ANALYSE DES ACCIDENTS



L'analyse des données d'accidents disponibles constitue une étape essentielle d'un diagnostic de sécurité, car elle permet de mieux comprendre les difficultés rencontrées par les usagers circulant au site étudié. L'analyste peut ainsi être en mesure de proposer des solutions qui sont bien adaptées aux problèmes rencontrés et permettront d'éviter les répétitions futures d'accidents similaires.

Cette analyse doit être amorcée avant la visite du site, car ses résultats pourront avoir une incidence au niveau des observations devant y être effectuées. Dans certains cas, il faudra prévoir certains équipements additionnels pour valider la pertinence de facteurs contributifs potentiels (p. ex. un appareil radar pour mesurer les vitesses pratiquées, des jalons et une roue à mesurer pour déterminer les distances de visibilité, etc.). Il est recommandé d'apporter au site les tables d'accidents de l'*annexe 6-2*.

6.3.1 COMPRENDRE L'ACCIDENT

Pour bien diagnostiquer les problèmes de sécurité, l'analyste doit tout d'abord avoir une bonne compréhension des mécanismes conduisant aux accidents :

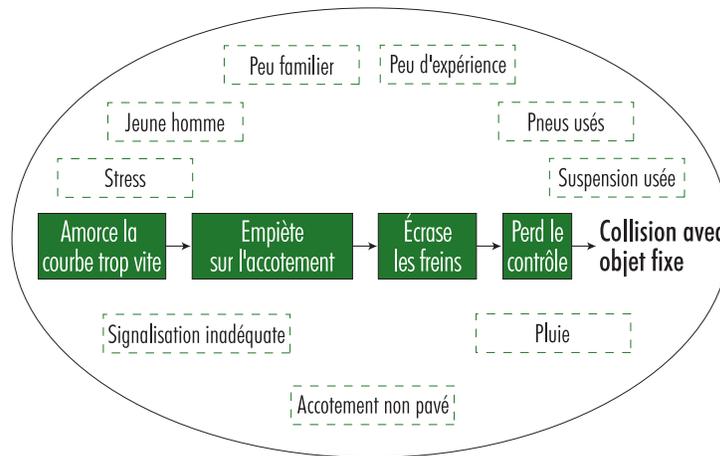
- chaque accident résulte d'une séquence d'événements survenus dans des circonstances précises (et n'est donc pas la « cause » d'un facteur unique);
- chacun de ces événements et chacune de ces circonstances sont liés à l'une des trois composantes du système de sécurité - l'humain, l'environnement routier et le véhicule (HEV) (*chapitre 3*);
- chaque événement est fortement influencé par le résultat des actions précédentes et par les circonstances entourant ces dernières.

Voici un exemple illustrant une séquence d'accident hypothétique :

Un jeune homme de 18 ans qui détient son permis de conduire depuis six mois se rend à une entrevue d'emploi dans une région qui ne lui est pas familière. Il est nerveux, en retard et roule vite. Il pleut. La suspension de son véhicule et ses pneus sont usés. À l'approche d'une courbe raide à l'issue d'un long tronçon droit, il ne remarque pas le panneau d'avertissement, qui ne répond pas aux normes existantes, et amorce la courbe à trop grande vitesse. Son véhicule empiète sur l'accotement, qui n'est pas pavé : il écrase les freins et perd le contrôle de sa voiture, qui va s'écraser sur un arbre en bordure de la route.

L'analyste doit chercher à comprendre les chaînes d'événements et les circonstances de chaque accident, pour être en mesure de proposer des interventions susceptibles de briser ces séquences (figure 6-3). Lorsque les informations disponibles sont insuffisantes pour permettre de reconstituer en détail le cours de l'accident, il doit alors recourir à des méthodes d'analyses simplifiées.

Figure 6-3 Chaîne d'événements et circonstances d'un accident



Niveaux d'analyse des accidents

On peut distinguer différents niveaux d'analyse, suivant le nombre d'accidents considéré.

Micro-analyse

Analyse d'un seul accident (*analyse détaillée*).

Analyse intermédiaire

Tous les accidents survenus à un même site sont analysés pour déterminer comment réduire leur occurrence future à cet endroit. Le processus de diagnostic décrit dans le présent chapitre est particulièrement bien adapté à ce niveau d'analyse.

Macro-analyse

Un plus grand ensemble d'accidents est considéré; il peut s'agir par exemple de l'ensemble de tous les accidents survenus sur un réseau (ou une partie de réseau), ou encore de tous les accidents liés à un groupe d'usagers (piétons, véhicules lourds). Les résultats de telles analyses effectuées au niveau de catégories de routes peuvent fournir des informations utiles lors de l'analyse d'un site spécifique, en révélant certains problèmes susceptibles d'y être rencontrés (*Problèmes à des sites semblables*). Ce type d'analyse est aussi effectué lors de l'élaboration du *plan d'action national en sécurité routière*.

On peut également distinguer différents niveaux d'analyse en fonction de la nature des informations servant à établir le diagnostic :

Analyse détaillée

Dans bien des pays, une analyse détaillée est effectuée lorsqu'il se produit un accident grave ou spectaculaire afin de reconstituer avec précision la chaîne d'événements et de circonstances qui lui ont donné lieu.

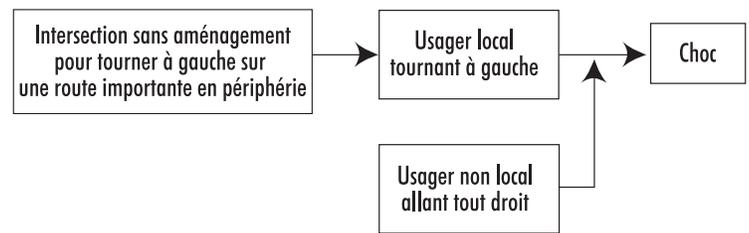
Cette analyse commence souvent sur la scène de l'accident, avant l'enlèvement des véhicules, permettant ainsi le recueil d'informations volatiles : versions des personnes impliquées et des témoins, conditions atmosphériques, conditions de surface, traces de roulement ou de freinage, etc.

Ce type d'analyse exige le concours de spécialistes de diverses disciplines : ingénieurs en transport, ingénieurs en mécanique, spécialistes des facteurs humains, policiers, médecins, etc. Les recommandations faites à l'issue de l'analyse sont souvent utilisées hors du cadre de l'accident pour prévenir d'autres événements pouvant se produire dans des circonstances semblables. Le coût élevé de ce type d'analyse en limite cependant le domaine d'application à un nombre restreint de cas.

Scénarios d'accidents

Ce type d'analyse est généralement effectué après que toute trace de l'accident ait disparu du site où il s'est produit. L'analyste s'appuie alors sur l'information qu'il peut tirer des rapports d'accidents de la police, pour tenter de définir des séquences partielles d'événements et de circonstances qui sont communes à un ensemble d'accidents (figure 6-4). En plus des informations codées (*analyse statistique des accidents*) le rapport d'accident contient généralement des diagrammes et descriptions narratives qui sont très utiles à la détermination des scénarios d'accidents.

Figure 6-4 Exemple – Scénario d'accident

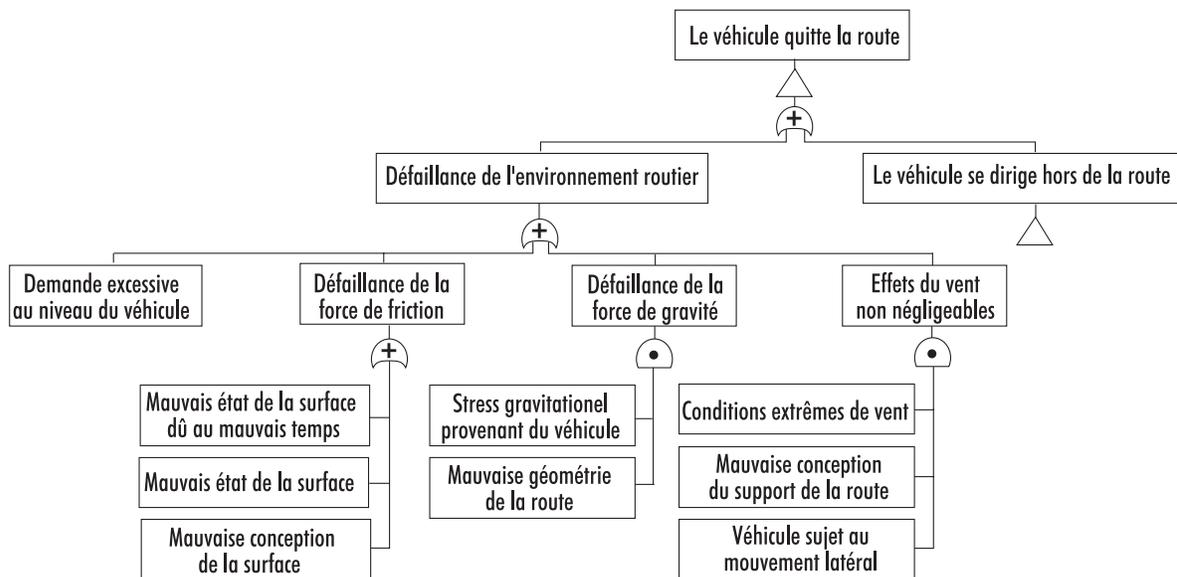


Source : Fleury et al, 1990

Les résultats obtenus sont utilisés pour proposer des solutions qui éviteront la répétition future de ces mêmes chaînes d'événements. Ces analyses sont le plus souvent effectuées par des spécialistes du domaine du génie routier ou pour des petites équipes multidisciplinaires.

Un arbre de défaillances constitue un outil utile pour regrouper plusieurs scénarios d'un même type d'accident en un seul schéma (Joshua et Garber 1992, Kuzminski et al., 1995). Chaque branche d'un tel arbre représente un scénario d'accident possible (figure 6-5).

Figure 6-5 Arbre de défaillances – Sorties de route



Source : Kuzminski et al, 1995

Analyse statistique

Il s'agit à ce niveau d'une analyse purement statistique. Le diagnostic est établi sur la base de plusieurs accidents mais les données disponibles ne sont pas nécessairement suffisantes pour permettre de reconstituer des scénarios. L'analyse des rapports d'accidents vise à déterminer si certains facteurs se répètent de façon anormale et cette information est alors utilisée pour progresser dans l'établissement du diagnostic.

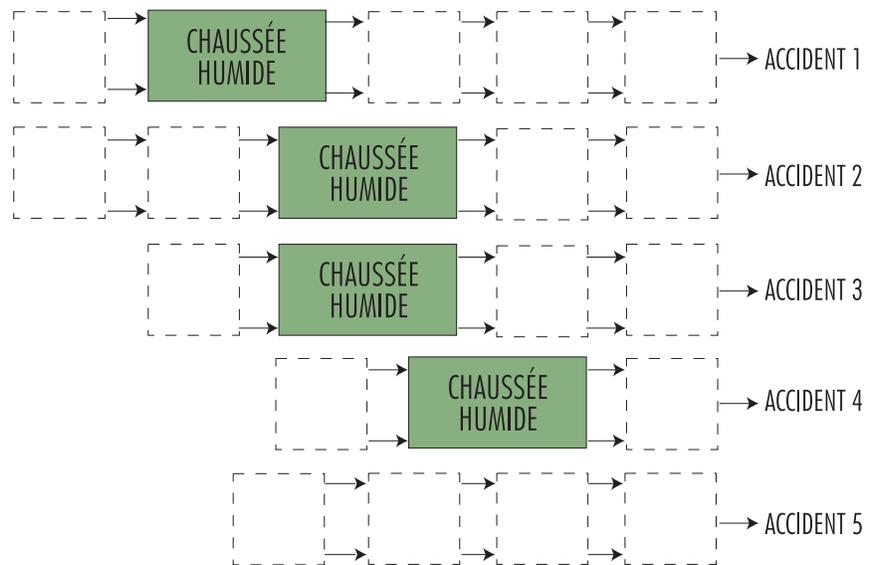
La méthode est illustrée à la figure 6-6. Le détail de l'information disponible ne permet pas de reproduire la chaîne d'événements de chaque accident mais l'analyse montre que le facteur « chaussée humide » est commun à quatre des cinq accidents survenus à ce site.

L'analyse visera à expliquer les causes de cette répétition.

Le niveau de détail d'un diagnostic de sécurité est fonction des données disponibles. Il se situera, dans la plupart des cas, à un niveau intermédiaire entre la méthode des scénarios et l'analyse statistique : quelques scénarios ou quasi-scénarios d'accidents pourront être développés et une analyse statistique complète sera effectuée.

Les outils décrits dans la section suivante expliquent comment effectuer une analyse statistique d'accidents.

Figure 6-6 Exemple – Répétition d'un même facteur contributif



6.3.2 ANALYSE STATISTIQUE DES ACCIDENTS

Les rapports d'accidents contiennent plusieurs types d'informations pouvant mettre en évidence de possibles lacunes de l'infrastructure (tableau 6-2).

Tableau 6-2 Rapport d'accident – Informations pouvant révéler des déficiences de la route

COLLISION IMPLIQUANT	TYPE D'ACCIDENT	MANOEUVRE	GRAVITÉ
- piéton, cycliste - véhicule passager - camion, bus - train - animal - etc.	- angle droit - collision arrière - collision frontale - collision latérale - un seul véhicule - etc.	- traversée - virage - dépassement - stationnement - etc.	- mortel - blessures graves - blessures légères - dommages matériels
CONDITIONS CLIMATIQUE	ÉTAT DE LA SURFACE	DATE ET HEURE	CARACTÉRISTIQUES DE LA ROUTE
- clair - nuageux - pluie - brume - neige	- sèche - mouillée - autre (sable, boue, glace, neige) - trous, ornières	- heure - jour - mois - an	- intersection - courbe horizontale - pente - etc.
RÈGLES DE PRIORITÉS DE PASSAGE	FACTEURS HUMAINS	CONDUCTEUR	AUTRES
- aucune - céder le passage - arrêt - feux de circulation	- fatigue - inattention - alcool - etc.	- lieu de résidence - âge - expérience de conduite - etc.	- travaux routiers - congé statutaire - etc.

En regroupant différentes informations du rapport d'accident, l'analyste pourra parfois obtenir des résultats qui s'apparentent à des quasi-scénarios : véhicule lourd en pente, collision à angle droit à une intersection à l'heure de pointe, etc.

Le rapport d'accident contient aussi certaines informations pouvant diriger l'attention de l'analyste vers d'autres composantes du système HEV qui sont problématiques : alcool au volant, jeunes conducteurs, surcharge des véhicules, défauts mécaniques, etc. Il faut dans un tel cas informer les responsables concernés de l'existence du problème.

Procédure – Analyse statistique des accidents

Les étapes d'une analyse statistique des accidents sont les suivantes :

1) Préparation de sommaires d'accidents

Différents sommaires d'accidents peuvent être préparés pour aider à la détection de patrons anormaux d'accidents. Trois types de sommaires sont décrits dans les pages suivantes :

Schémas d'accidents

Tableaux sommaires

Tableaux comparatifs

2) Recherche de facteurs contributifs

Après avoir déterminé les patrons d'accidents atypiques, il faut chercher à en comprendre les causes (facteurs contributifs) et déterminer si des mesures prises au niveau de la route pourraient efficacement prévenir de tels accidents dans le futur. La première partie des *tables d'accidents* de l'annexe 6-2 assiste l'analyste dans cette tâche. Des tables distinctes ont été préparées pour les intersections et les sections de route ainsi que pour plusieurs types d'accidents.

3) Recherche de solutions

Pour chaque facteur contributif, il est généralement possible d'identifier plusieurs types de traitements. La deuxième partie des *tables d'accidents* de l'annexe 6-2 suggère des choix de solutions courantes et propose au besoin des liens vers les *fiches techniques* de la partie 3 qui contiennent des informations complémentaires.

Sommaires d'accidents

Schéma d'accidents

Ce schéma montre l'ensemble des accidents à être survenus à un même site et précise (figure 6-7) :

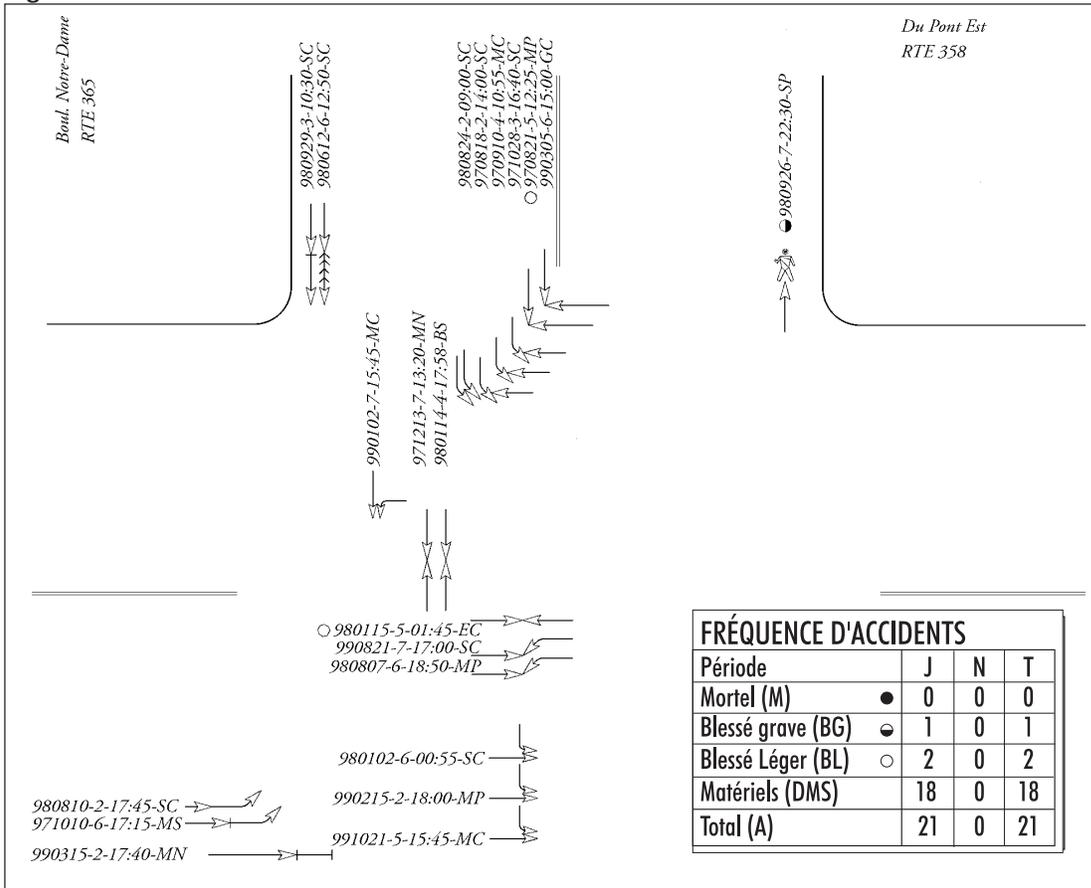
- l'emplacement exact de chaque accident;
- les manœuvres de chaque véhicule (tout droit, virage, perte de contrôle);
- le type de collision (angle droit, collision arrière, etc.).

Le schéma peut aussi inclure d'autres informations telles la gravité de l'accident, la date, le jour, l'heure, l'état de la chaussée, etc.

Le schéma d'accidents facilite la détection de patrons d'accidents répétitifs ou de concentrations d'accidents dans une certaine direction de circulation.

Plusieurs logiciels commerciaux simplifient maintenant la préparation de ces schémas.

Figure 6-7 Schéma d'accidents



Source : Bélanger, 2002

Tableaux sommaires d'accidents

Ce type de tableau regroupe sur une seule page, plusieurs caractéristiques d'un ensemble d'accidents, ce qui facilite la détection de facteurs répétitifs. Celui du tableau 6-3 par exemple, montre clairement que plusieurs des douze accidents rapportés à ce site sont survenus au cours de fins de semaines, ce qui influencera la recherche des problèmes et des solutions. Si les données d'accidents dont on dispose sont informatisées, la préparation de ce type de tableau peut facilement être automatisée. Les facteurs problématiques pourront dans ce cas être portés automatiquement à l'attention des analystes, selon des seuils préalablement établis (**tableaux comparatifs des accidents**).

Tableau 6-3 Exemple -Tableau sommaire

	NUMÉRO DE L'ACCIDENT											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ANNÉE	00	99	00	98	99	99	00	98	00	99	98	98
MOIS	02	03	07	04	01	04	04	12	05	04	09	10
JOUR	DIM	VEN	LUN	DIM	MAR	SAM	SAM	MAR	LUN	VEN	DIM	SAM
HEURE	1615	0210	1240	1750	1520	1125	1430	2200	1825	0910	0500	0940
GRAVITÉ (● : mortel ○ : blessure)		●				○				○		
TYPE D'ACCIDENT	←→	←→	→↑	→→	→↓	→→	→↑	↑	→↑	→←		→→
ÉTAT DE LA CHAUSSÉE (S: sèche H: humide)	S	S	H	H	H	S	H	S	S	H	S	H
ÉCLAIRAGE	NUIT	JOUR	JOUR	NUIT	JOUR	JOUR	JOUR	NUIT	JOUR	JOUR	JOUR	NUIT

Tableaux comparatifs des accidents

Ce qui constitue une proportion anormale d'accidents varie largement selon la catégorie de site étudié. Les proportions moyennes de collisions arrière ou à angle à une intersection, par exemple, diffèrent suivant que les priorités de passage sont gérées par des panneaux d'arrêts ou par des feux; la proportion de sorties de routes est plus importante en courbe horizontale qu'en section droite, etc.

On obtient donc une meilleure estimation du **potentiel d'amélioration** anticipé en comparant les typologies d'accidents au site étudié avec celles observées à des sites similaires (**population de référence**). Le tableau 6-4 montre ainsi que dans l'ensemble de données considéré, une même proportion de 40 % de collisions arrière est inférieure à la moyenne lorsque les priorités de passage sont contrôlées par des feux de circulation, mais au dessus de la moyenne s'il s'agit d'une intersection avec arrêts.

Tableau 6-4 Exemple – Proportions d'accidents aux intersections en croix

		
FEUX DE CIRCULATION	45%	30%
PANNEAUX D'ARRÊTS	32%	48%

Note : Les accidents impliquant un seul véhicule et ceux dont le type d'impact est inconnu ont été exclus.

Source : Ministère des Transports du Québec.

Il faut au préalable s'assurer que les caractéristiques géométriques et les conditions de circulation au sein de la **population de référence** soient adéquates pour éviter que cette comparaison ne conduise au maintien de conditions hasardeuses. Le problème est discuté plus en détail à l'**annexe 5-1**.

Différents tests statistiques peuvent servir à cette comparaison et la **section 5.2.1** décrit comment utiliser les propriétés de la loi binomiale à cette fin. Le tableau 6-5 illustre les résultats d'un tel calcul pour la variable « type de véhicule ». Dans cet exemple, la forte proportion d'accidents impliquant un véhicule lourd justifie un examen plus approfondi.

Tableau 6-5 Exemple – Tableau comparatif des accidents

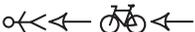
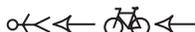
TYPE DE VÉHICULE	SITE ^a		POPULATION DE RÉFÉRENCE ^b	PROBABILITÉ DE DÉVIANCE (%)
	NOMBRE	%	%	
VÉHICULES PASSAGERS	33	80	90	2
VÉHICULES LOURDS	7	17	7	98
MOTOS/CYCLOMOTEURS	1	2	1	66
VÉLOS	0	0	2	N/A
AUTRES	0	0	0	N/A

^a Site étudié : Intersection en + en milieu urbain avec arrêts sur les approches secondaires.

^b Population de référence : 145 intersections similaires.

Recherche des facteurs contributifs

Les tables d'accidents de l'**annexe 6-2** peuvent être utilisées pour déterminer les facteurs pouvant contribuer aux types d'accidents suivants :

INTERSECTION		SECTION		GÉNÉRAL
ANGLE DROIT		VÉHICULE SEUL		NUIT
COLLISION ARRIÈRE		COLLISION ARRIÈRE		CHAUSSÉE MOUILLÉE
VIRAGE EN SENS OPPOSÉ		COLLISION FRONTALE		
PIÉTON / CYCLISTE		PIÉTON / CYCLISTE		

Ces tables sont divisées en deux parties :

ÉLÉMENT	EXPLICATIONS
1) FACTEURS POSSIBLES	
facteurs contributifs	Liste des principaux facteurs pouvant avoir contribué à un type d'accident.
autres types d'accidents	Liste d'autres types d'accidents pouvant être associés à un facteur contributif.
observations, mesures, calculs	Principales observations, mesures ou calculs pouvant être effectués pour confirmer ou infirmer la pertinence d'un facteur contributif.
2) ACTIONS POSSIBLES	
facteurs contributifs	Idem à ci-dessus.
actions possibles	Principaux types d'actions curatives pouvant être envisagées pour un facteur contributif donné.
références	Liens vers les fiches et études techniques pertinentes des parties 3 et 4 du manuel.

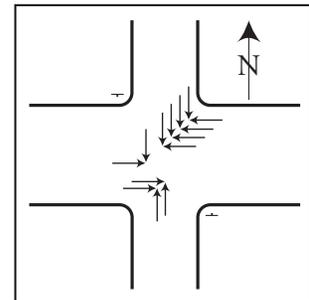
Sites faciles et sites difficiles

La complexité des diagnostics de sécurité varie selon le cas à l'étude. En adaptant le concept de « sites faciles et sites difficiles » proposé en Angleterre (Department of Transport, London, 1986), il est possible de distinguer les cas suivants :

Sites faciles - patrons d'accidents simples

Sites où on peut identifier au moins un type d'accident en concentration anormale (angle droit, sortie de route, etc.).

Les tables d'accidents de l'**annexe 6-2** peuvent être utilisées pour détecter les facteurs contributifs et les actions possibles.

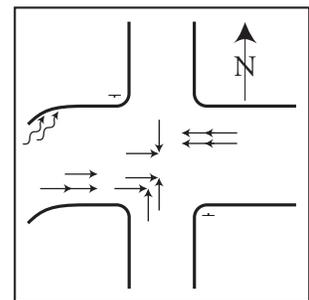


Site facile, patron simple

Sites faciles - patrons d'accidents multiples

Ce sont les cas où des problèmes liés à l'infrastructure routière peuvent être détectés à partir de combinaisons de différents types d'accidents. Exemple : la présence d'une courbe horizontale à proximité d'une approche d'une intersection peut engendrer des pertes de contrôle, des collisions arrière, des collisions à angle droit et des accidents sur chaussée mouillée.

Ce type de cas est souvent rencontré en pratique, puisque la plupart des problèmes de sécurité contribuent à plus d'un type d'accident. L'exemple de l'**annexe 6-4** est de cette catégorie.



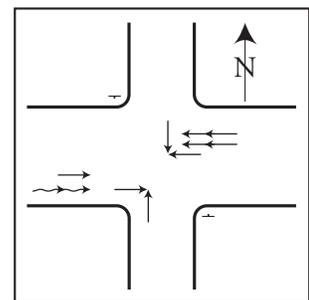
Site facile, patrons multiples

Sites difficiles

Sites où l'analyse des accidents ne permet pas de déterminer la nature exacte du problème, ce qui peut s'expliquer de différentes façons :

- insuffisance ou mauvaise qualité des données d'accidents (**chapitre 4**);
- site à problèmes multiples;
- faible contribution de l'infrastructure routière;
- connaissances insuffisantes des analystes.

Les sites faciles, pour lesquels des mesures peu coûteuses ont pu être identifiées, devraient être traités en priorité.



Site difficile

6.4 OBSERVATIONS AU SITE

Les observations de terrain constituent aussi une étape essentielle d'un diagnostic de sécurité car elles permettent de préciser quelles sont les caractéristiques actuelles du site à l'étude et de vérifier son mode de fonctionnement. L'analyste peut ainsi mieux comprendre les problématiques rencontrées et s'assurer de l'applicabilité de solutions qui ont pu être envisagées lors des analyses effectuées au bureau. La visite de terrain permet aussi de :

- compléter l'analyse des accidents amorcée à l'étape 6-3 (examen des facteurs contributifs possibles et des solutions envisageables);
- identifier des conditions à risque qui n'ont pas été détectées lors de l'analyse des accidents.

Si l'analyse des accidents n'a pas conduit à une bonne compréhension des problématiques rencontrées, on pourra utiliser les techniques de **conflits de circulation** pour progresser dans le diagnostic.

Différents types d'éléments doivent être observés au site :

- caractéristiques géométriques de la route et de ses abords;
- caractéristiques opérationnelles (types d'usagers, débits de circulation, délais, etc.);
- comportements des usagers de la route (vitesse, respect des règles de conduite, etc.).

Ces observations pourront conduire à l'identification de différentes situations à risque pouvant être améliorées par des mesures prises au niveau de la route. Il peut s'agir :

- d'écarts par rapport à des normes et pratiques établies;
- de prises en compte inadéquates des capacités, des limites et des besoins des conducteurs :
 - tâche de conduite;
 - respect des attentes.
- d'incohérences au niveau des différentes composantes de l'environnement routier.

Tel que mentionné en introduction, ces différents éléments sont décrits plus en détails à l'**annexe 6-1**.

La visite de terrain devrait aussi permettre de vérifier si des problèmes qui sont souvent rencontrés aux sites ayant des caractéristiques similaires le sont aussi au site étudié. L'analyste d'expérience utilise en effet le savoir qu'il a accumulé au cours de diagnostics antérieurs pour concentrer son attention sur les sources de problèmes les plus probables (ce qui peut en soi devenir nuisible s'il devient ainsi incapable d'identifier l'origine réelle des problèmes rencontrés).

Notons à cet égard que des guides de sécurité ont été développés dans plusieurs pays pour décrire les principaux problèmes rencontrés sur les différentes catégories de routes de leurs réseaux (p. ex. Centre d'études des transports urbains et Service d'études techniques des routes et autoroutes, 1992; American association of state highway and transportation officials, 1997; Department of transportation, 2001). De tels guides peuvent fournir une information utile au moment du diagnostic et le développement d'un tel outil de référence, adapté aux spécificités d'un pays est donc fort souhaitable.

De façon similaire, les résultats d'**inspections de sécurité** de réseaux existants peuvent aussi servir à identifier les problématiques répétitives car on constatera souvent, après avoir complété plusieurs inspections sur un même type de route, certains points communs en ce qui concerne les problématiques observées (**problèmes fréquents, principes de sécurité**).

Les observations à effectuer au site sont donc très nombreuses et diversifiées. Dans certains cas, les problèmes sont faciles à diagnostiquer - p. ex. un panneau d'arrêt manquant, la présence de piétons sur une chaussée d'autoroute, une intersection cachée – mais en d'autres circonstances, l'analyse se révélera beaucoup plus complexe et ne pourra être complétée avec succès qu'en faisant appel à des équipes de spécialistes multidisciplinaires.

Le défi d'un outil de diagnostic est d'en arriver à diriger les analystes moins expérimentés vers les principaux problèmes pouvant être rencontrés, sans que le nombre de questions non pertinentes pour le cas à l'étude ne devienne pour autant démesurément élevé.

Procédure – Observations au site

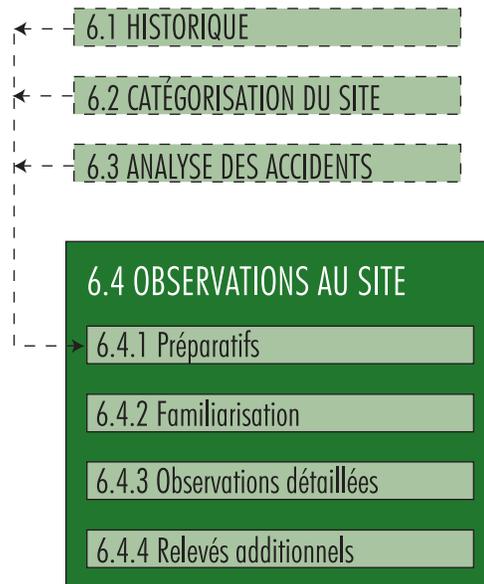
L'approche suggérée dans ce chapitre s'appuie sur un découpage des observations en quatre tâches distinctes, soit : les préparatifs, la familiarisation avec le site, les observations détaillées et les relevés additionnels (figure 6-8). Chacune de ces tâches est décrite dans les prochaines pages.

Avec l'expérience, l'analyste développera sa propre méthode d'observation qui sera nécessairement moins lourde et plus efficace. La familiarisation avec le site continuera à être effectuée intégralement, mais les observations détaillées s'effectueront sans doute de façon moins formelle. L'important est de s'assurer que les différentes sources de problèmes et solutions possibles soient adéquatement prises en compte lors du diagnostic.

Notes :

- pour faciliter l'application de la démarche proposée, des listes de vérifications détaillées ont été préparées. Elles sont incluses en **annexe 6-3**;
- un exemple détaillé est présenté en **annexe 6-4**;
- plusieurs concepts importants sont discutés en **annexe 6-1** : problèmes et solutions relatifs à l'infrastructure, classification routière, cohérence de l'environnement routier, tâche de conduite et attentes des conducteurs;
- les observations au site doivent être effectuées au moment où les problèmes sont les plus susceptibles d'être observés (heure de pointe, nuit, fin de semaine, chaussée humide, etc.);
- les méthodes d'observation utilisées ne doivent jamais mettre en péril la sécurité des observateurs ni celle des usagers de la route.

Figure 6-8 Procédure – Observations au site



Débris sur la chaussée - Le mur de soutènement est trop court

Problèmes fréquents

En milieu rural :

- caractéristiques géométriques de la route non adaptées aux vitesses pratiquées : distances de visibilité insuffisantes, voies et accotements trop étroits, obstacles rigides non protégés sur les abords, etc. Entre 33 % et 50 % des décès routiers en milieu rural sont attribuables à des sorties de route;
- transitions difficiles entre deux segments de routes adjacents ayant des caractéristiques distinctes et pouvant surprendre les conducteurs : courbe raide à l'issue d'un long tronçon droit, perte de voie inattendue, etc.;
- développement non contrôlé des accès riverains, qui engendre des différentiels de vitesses et des conflits de circulation entre usagers.

En zone urbaine :

- mauvaise gestion des manœuvres conflictuelles aux intersections et aux accès (entre véhicules motorisés, entre ces derniers et les véhicules non motorisés). En milieu urbain, environ 50 % des accidents se produisent aux intersections;
- protection inadéquate des usagers non motorisés. Si les vitesses ne peuvent être maintenues basses, il importe de séparer ces derniers des usagers motorisés¹ :
 - dans l'espace (couloirs de circulation distincts, traverses piétonnes étagées);
 - dans le temps (feux avec phases exclusives pour les usagers non motorisés).
- surcharge au niveau de la tâche de conduite, pouvant être attribuable à une trop grande quantité ou complexité d'informations à traiter ou d'actions à effectuer à un même endroit.

Principes de sécurité

Aux intersections :

- limiter le nombre de points de conflits;
- donner la préséance aux mouvements les plus importants, de par les choix d'alignement, de délinéation, et les priorités de passage;
- séparer les conflits dans le temps ou l'espace;
- contrôler les angles de conflit;
- définir les voies de circulation;
- offrir des distances de visibilité adéquates;
- contrôler les vitesses d'approche par le choix de tracé en plan et de profil en long, la largeur des voies, les modes de contrôle de la circulation, les limites de vitesse;
- indiquer clairement les priorités de passage;
- limiter la dangerosité des abords de route;
- répondre aux besoins de tous les types d'usagers (motorisés et non motorisés);
- simplifier la conduite;
- limiter les retards.

En section :

- s'assurer que les caractéristiques du tracé en plan et du profil en long soient adéquates et cohérentes le long d'une route;
- offrir des profils en travers qui soient cohérents avec la fonction de la route et les volumes de circulation;
- délinéer la chaussée et les voies de circulation;
- effectuer un contrôle adéquat de l'accès aux propriétés riveraines;
- s'assurer du dégagement des abords de route (route qui pardonne).

Source : Ogden, 1996

¹ Fleury (1998) distingue deux principes opposés, soit l'intégration et la séparation des usagers motorisés et non-motorisés :

Intégration : qui n'est possible que lorsque les volumes de circulation et les vitesses peuvent être maintenus faibles (par un choix approprié d'aménagements routiers). Sous de telles conditions, les risques d'accidents et de traumatismes sont minimaux.

Séparation : doit être appliqué partout ailleurs sur le réseau.

6.4.1 PRÉPARATIFS

L'analyste doit apporter au site les éléments suivants :

- tables d'accidents (*annexe 6-2*);
- listes de vérifications détaillées (*annexe 6-3*);
- appareil photo et vidéo-caméra, avec provision suffisante de films (ou mémoire, cassettes, etc.) et piles;
- ruban à mesurer et roue à mesurer;
- papier, crayon, règle, gomme à effacer;
- téléphone cellulaire.

Lorsque disponible, il faut aussi apporter :

- plan des lieux (géométrie, signalisation, marquage, éclairage, etc.). Plusieurs administrations routières exploitent maintenant des bases de données informatisées contenant la plupart de ces informations. Si ces données peuvent être reliées à un système d'information géographique (SIG), il est alors facile de préparer un plan de l'aménagement des lieux à l'échelle et de l'apporter au site. L'analyste pourra alors simplement noter les différences avec les conditions existantes, ce qui accélère la préparation du *schéma d'aménagement*;
- rapports d'études antérieures (pour vérifier si les problèmes qui ont été identifiés dans le passé ont été corrigés conformément aux recommandations);
- conclusions de l'*analyse des accidents*.

Il peut aussi être utile de prévoir (surtout si le site est loin du bureau) :

- balises (*étude de distances de visibilité*);
- appareil radar (*étude des vitesses instantanées*);
- chronomètre (*délais, temps de déplacement*, minutage des feux);
- feuilles de comptage ou compteur mécanique ou électronique (*relevé de circulation*);
- magnétophone;
- niveau (dévers).

Pour la protection personnelle des analystes :

- casque, veste et bottes de sécurité;
- feu clignotant et autre équipement de signalisation requis;
- assistance policière (au besoin).

6.4.2 FAMILIARISATION AVEC LE SITE

Les principaux objectifs de l'étape de familiarisation sont de détecter les lacunes évidentes du site étudié et de chercher à comprendre les principales difficultés rencontrées par les usagers qui y circulent. Pour se faire, l'analyste effectue - dès son arrivée au site - des trajets en véhicule dans toutes les directions permises et à la vitesse qui lui semble représentative de celle adoptée par les autres conducteurs. La distance à couvrir dépend du type d'environnement routier et de la nature des problèmes soupçonnés. En zone urbaine, quelques centaines de mètres dans chaque direction suffisent généralement mais en milieu rural, il faudra parfois rouler sur plusieurs kilomètres si le problème appréhendé peut être attribuable à une violation des *attentes des usagers*. L'analyste doit aussi parcourir les trajets empruntés par les piétons.

Différents types de problèmes peuvent être détectés lors de la familiarisation avec le site :

- des caractéristiques déficientes de la route ou de ses abords :
distance de visibilité restreinte, signalisation inadéquate, abords de route difficiles, etc.
- des caractéristiques de la circulation qui accroissent le risque d'accidents :
conflits de circulation sévères, différentiels de vitesses importants, délais excessifs, etc.
- des comportements à risque :
non respects des règles de circulation, vitesses excessives, talonnage, etc.
- des violations évidentes des attentes des conducteurs ou des tâches de conduite trop (ou trop peu) complexes :
transitions inadéquates, intersections à branches multiples, etc.
- des problèmes de cohérence évidents :
kiosque commercial sur l'accotement d'une autoroute, volumes importants de circulation non locale en milieu résidentiel, etc.
- un niveau d'entretien inadéquat.
usure du marquage, de la signalisation, végétation sur les accotements, etc.

Figure 6-9 Exemples – Problèmes évidents pouvant être détectés lors de la familiarisation



Barrière de sécurité (New-Jersey) dangereuse sur autoroute rurale.

Présence hasardeuse de cyclistes sur autoroute.

6.4.3 OBSERVATIONS DÉTAILLÉES

À cette étape de la visite de terrain, l'analyste :

1. observe avec plus de détails, certains points qui lui sont apparus problématiques dans les étapes précédentes du diagnostic, c.-à-d. :
 - vérifie si les problèmes antérieurs ont été traités avec succès (*historique du site*);
 - complète l'analyse des facteurs contributifs d'accidents et des solutions possibles (*analyse des accidents*);
 - étudie les problèmes détectés lors de la familiarisation avec le site.
2. vérifie si des problèmes qui sont fréquemment observés à des sites semblables le sont aussi au site étudié (*problèmes à des sites semblables*).
3. observe les conditions de circulation. Les délais et les temps de parcours excessifs peuvent occasionner de la frustration et engendrer certains comportements dangereux comme le choix de créneaux de manœuvres trop courts, le talonnage ou le dépassement dangereux. Si de tels problèmes sont observés ou suspectés, une analyse de circulation plus détaillée doit être effectuée. Celle-ci nécessitera toujours un *relevé de circulation* et une *étude de capacité*. Dans certains cas, des *études techniques additionnelles* seront aussi requises.

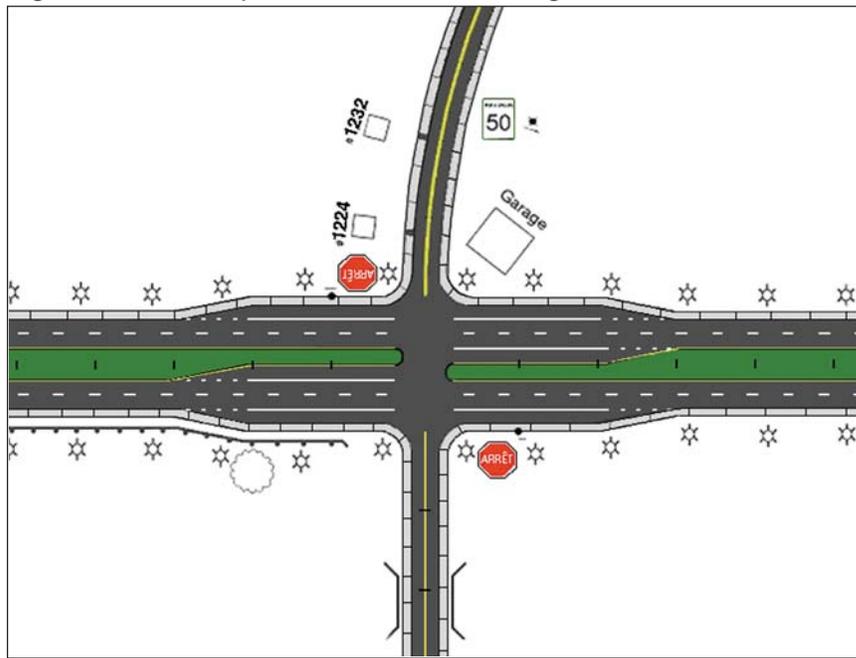
L'analyste doit aussi s'assurer qu'aucune catégorie d'usager ne subit de risque « inacceptable » au site. Des problèmes fréquents incluent :

- des manœuvres de virage hasardeuses sur des routes à haute vitesse (protection insuffisante);
 - des différentiels de vitesse importants (entre usagers à un même site ou entre segments de routes adjacents pour un même usager);
 - des différentiels de masse importants (combinaison hasardeuse d'usagers sur une même route);
 - des conflits de circulation sévères;
 - des empiètements importants (p. ex. manœuvres de virage des véhicules lourds à une intersection);
 - une prise en compte inadéquate des besoins de catégories d'usagers spécifiques (feux à décompte sonore pour personnes avec handicap visuel, temps de traverse allongés pour piétons âgés, etc.).
4. observe différentes caractéristiques de l'environnement routier :
 - occupation du territoire adjacent;
 - vitesse (affichée, pratiquée);
 - tracé en plan;
 - profil en long;
 - distance de visibilité;
 - profil en travers;
 - état de la surface de roulement;
 - marquage;
 - abords de route;
 - accès et traverses;
 - signalisation;
 - éclairage routier;
 - caractéristiques des intersections.

Les analystes doivent s'assurer de la conformité de chacune de ces composantes aux normes et pratiques établies et évaluer le niveau de risque associé en cas d'écart.

Un schéma d'aménagement est généralement préparé. Il s'agit d'un sommaire graphique montrant les principales caractéristiques géométriques du site à l'étude (*figure 6-10*). Des notes peuvent être inscrites directement sur ce schéma afin de préciser les problèmes identifiés. En examinant côte à côte le schéma d'accidents et le schéma d'aménagement, il est souvent possible de déceler des caractéristiques de l'environnement routier qui expliquent les problématiques rencontrées.

Figure 6-10 Exemple – Schéma d'aménagement



Source : Bélanger, 2002

5. évalue le niveau de complexité de la tâche de conduite et le respect des attentes des conducteurs; au besoin, une analyse plus détaillée de la tâche de conduite sera effectuée.
6. vérifie si certains problèmes de sécurité peuvent être liés à des comportements hasardeux et détermine si ces comportements pourraient être modifiés efficacement par des interventions au niveau de l'infrastructure. Si l'analyste conclut au contraire que d'autres types d'interventions sont plus appropriées (p. ex. éducation, contrôle policier), il doit en informer les responsables concernés.
7. vérifie si les problèmes rencontrés peuvent être liés à des lacunes d'entretien. Des problèmes fréquents incluent l'usure de la signalisation, le marquage effacé, la croissance non contrôlée de la végétation, la détérioration des surfaces de roulement, les bris des équipements de sécurité (p. ex. glissières de sécurité) et le mauvais état des systèmes d'éclairage et des feux de circulation.

6.4.4 RELEVÉS ADDITIONNELS

L'analyste doit profiter de sa visite au site pour effectuer des relevés photos et vidéos, particulièrement si le site est éloigné du bureau. En fonction des constats effectués en cours de diagnostic, des relevés techniques additionnels peuvent aussi s'avérer nécessaires afin de valider certaines hypothèses de problématiques. Certains de ces relevés pourront être effectués lors de la visite de terrain tandis que d'autres, qui sont plus exigeants en termes de temps, d'équipements ou de personnel, devront être planifiés à un autre moment.

Photos et vidéos

Des photos devraient être prises à intervalle régulier (p. ex. 100 m), dans toutes les directions de déplacement. L'appareil doit être tenu à une position se rapprochant de celle des yeux d'un conducteur de véhicule passager, de façon à ce que les photos soient représentatives des conditions perçues par celui-ci. Des photos devraient aussi être prises en position d'arrêt sur chacune des approches secondaires d'une intersection; le véhicule est immobilisé à la ligne d'arrêt et les photos sont prises en position de conduite (à gauche, à droite et tout droit). L'enregistrement d'une séquence vidéo des conditions au site peut aussi être effectué lors des parcours de l'étape de familiarisation avec le site. Des commentaires pourront être inclus à cet enregistrement pour références futures. On prendra aussi des photos ou des enregistrements vidéos de tout élément significatif pour le diagnostic : caractéristiques géométriques dangereuses, manoeuvres ou comportements hasardeux, traces de freinage, etc.

Études techniques additionnelles

Les études techniques additionnelles qui sont le plus souvent requises lors d'une analyse de sécurité sont les suivantes.

Relevé de circulation

Un relevé de circulation doit être effectué si certains indices portent à croire que des difficultés au niveau de l'écoulement de la circulation peuvent être à l'origine des problèmes de sécurité (délais ou temps de parcours excessifs, files de véhicules, accidents aux heures de pointe, etc.). Un tel relevé peut aussi s'avérer nécessaire pour valider la justification d'installation d'une composante de la route (feux de circulation, voie de virage, etc.). Le relevé devrait inclure les heures de pointe du matin et du soir d'une journée représentative, à moins que les problèmes ne soient clairement identifiés à une autre période. Les débits recensés devront être ajustés pour obtenir un estimé du débit journalier moyen annuel (DJMA), puisque cette variable est souvent utilisée comme critère de décision en génie routier. Le relevé de circulation doit aussi distinguer les différentes catégories d'usagers circulant au site ainsi que les différentes manœuvres effectuées. La partie 4 de ce manuel explique comment effectuer un **relevé de circulation**.

Étude de capacité

L'analyste doit vérifier si la capacité est adéquate (capacité totale au site, partage de la capacité entre les différents usagers et différentes manœuvres) :

sections de routes : il faut vérifier si le nombre, l'assignation et les caractéristiques de chaque voie sont adéquates, incluant les voies de dépassement (largeur, longueur, terminaisons);

intersections : il faut vérifier si le mode de contrôle de la circulation est adapté aux conditions de circulation (arrêts sur approches secondaires, arrêts toutes directions, feux de circulation, etc.), déterminer aux intersections avec feux si le nombre et la longueur de chaque phase sont adéquats et vérifier si la canalisation en place contribue efficacement à réduire les délais et les conflits de circulation.

Plusieurs procédures de calcul et logiciels spécialisés peuvent être utilisés à cette fin.

Des études de **retards**, de **temps de parcours** et de créneaux de manœuvre utilisés par les usagers de la route peuvent aussi être requises pour préciser la nature des problèmes rencontrés. Aux feux de circulation, la durée de chaque phase (incluant les périodes de jaune et rouge intégral) doit être connue (tout en gardant à l'esprit qu'un même système de feux peut comporter plusieurs cycles distincts).

Conflits de circulation

Un conflit de circulation est une situation où au moins un usager de la route doit effectuer une action évasive (freinage, accélération, évitement ou combinaison de ces manœuvres) sans quoi il y aurait accident. L'observation des conflits de circulation à l'aide de procédures formelles développées à cette fin, est un outil de diagnostic utile, principalement aux intersections en zone urbaine. La partie 4 du manuel décrit les principaux éléments devant être pris en compte lors de la réalisation d'une **étude de conflits de circulation**.

Vitesse

La vitesse excessive pour les conditions, accroît à la fois le risque d'accident et leur gravité. Les différentiels de vitesse entre deux segments de route adjacents (p. ex. à l'approche d'une courbe horizontale raide ou d'une zone de travaux) ou encore entre différentes catégories d'usagers à un même site (p. ex. un véhicule agricole sur une autoroute) aggravent aussi le risque d'accident et devraient être détectés lors d'une étude de sécurité. La partie 4 du manuel, explique comment effectuer une **étude des vitesses instantanées** et déterminer la distribution des vitesses pratiquées à un site.

Distance de visibilité

Un conducteur circulant à une vitesse raisonnable doit, en tout point de la route, disposer d'une distance de visibilité suffisante pour immobiliser son véhicule en sécurité s'il aperçoit un obstacle sur la chaussée. Dans les situations complexes ou inattendues, de plus longues distances de visibilité sont requises. Aux intersections, la visibilité disponible doit en plus permettre aux conducteurs d'effectuer chacune des manœuvres qui sont permises mais non prioritaires, de façon sécuritaire. Lorsque les observations au site indiquent un problème de visibilité, il faut mesurer les distances disponibles avec précision. La partie 3 du manuel contient une fiche technique sur les besoins de *visibilité* et la partie 4 explique comment effectuer une *étude de visibilité*.

Tâche de conduite

Si le diagnostic révèle une tâche de conduite complexe (p. ex. un environnement visuel chargé, des manœuvres difficiles) ou met en évidence le caractère inattendu de certaines caractéristiques du site (p. ex. un type d'intersection ou une distribution de circulation inhabituelle, une première courbe raide après un long alignement droit), il peut alors être nécessaire de procéder à une analyse plus approfondie de la tâche de conduite. L'annexe 6-1 discute des concepts d'*attentes des usagers* et de *tâche de conduite* tandis que la partie 3 du manuel décrit de façon plus détaillée les *facteurs humains* à prendre en compte lors d'une étude de sécurité.

Listes de vérification

Des listes de vérification ont été préparées pour aider les analystes à compléter les différentes étapes d'un diagnostic de sécurité (voir *annexe 6-3*).

La partie « Observations détaillées » de ces listes contient un ensemble de questions permettant de détecter les principales occurrences des différents types de problèmes qui ont été décrits dans ce chapitre. On demande par exemple à l'analyste de vérifier si les réductions de vitesse à l'approche d'une courbe sont excessives, dans le but de déterminer si les attentes des conducteurs peuvent être trompées (tout en proposant des critères quantitatifs permettant de conclure objectivement sur le sujet). On lui demande aussi de vérifier la présence d'empiètements, ce qui peut être symptomatique d'un manque de cohérence entre certaines caractéristiques géométriques de la route (p. ex. largeur des voies, rayons de virage) et les catégories d'usagers qui circulent au site. Etc.

Il s'agit de listes générales (on n'y distingue que les intersections et les sections) et il se peut donc que certaines des questions qui y sont posées ne soient pas pertinentes pour le site étudié. Il serait préférable de développer, à l'intérieur d'un pays, des listes de vérification distinctes pour chacune des principales catégories de routes et sites qu'on peut y analyser. On pourrait ainsi mieux cibler les questions.

Avec l'expérience, l'analyste en arrivera à déterminer rapidement les points nécessitant une attention particulière. Certains choisiront alors de continuer à répondre à l'ensemble des questions de ces listes, de façon à obtenir un rapport complet de la performance de sécurité du site. D'autres préféreront aller directement aux parties des listes portant sur les composantes de la route qui leur sont apparues problématiques en cours d'analyse.

Certains éléments ont été répétés à quelques reprises (p. ex. les questions sur l'état de la surface de roulement et les distances de visibilité). Il devient ainsi possible d'utiliser chacune des parties de ces listes de façon indépendante.

Toutes les questions ont été formulées de façon à obtenir une réponse positive en l'absence de problème. Il est ainsi facile de retrouver l'ensemble des lacunes détectées à un site en examinant la colonne des « non » de listes complétées.

Des fiches techniques ont été développées pour certaines composantes de la route qui doivent être observées lors de la visite de terrain: tracé en plan, profil en long, état de la surface de roulement, etc. Ces fiches expliquent en détail la relation entre la composante considérée et la sécurité et peuvent donc servir de référence à l'analyste (*partie 3*). Des fiches supplémentaires devraient être ajoutées aux futures éditions du manuel.

Rappelons en terminant qu'il est clair qu'aucune liste de vérification ne peut remplacer l'expertise et le jugement éclairé de l'analyste d'expérience. Un tel outil n'est en fait qu'un simple aide-mémoire susceptible de minimiser les oublis lors d'une visite de site, tout en favorisant des prises d'observations systématiques.

6.5 CONCLUSION

Ce chapitre a décrit comment effectuer un diagnostic de sécurité sur une route existante en proposant un processus d'analyse qui se fonde sur l'utilisation de quatre principales sources d'information :

l'historique du site

la catégorie du site

l'analyse des accidents

les observations au site

Plusieurs outils pratiques ont été intégrés au manuel de façon faciliter la tâche de l'analyste : tableaux d'accidents de l'*annexe 6-2*, listes de vérification détaillées de l'*annexe 6-3*, fiches techniques de la *partie 3* et études techniques de la *partie 4*.

Ce processus de diagnostic convient particulièrement à l'étude des points noirs, mais il peut aussi servir à d'autres types d'analyses de sécurité. Ainsi par exemple, les explications des sections *catégorisation du site* et *observations au site* peuvent être utiles lors de revues (ou audits) de sécurité de routes existantes. Mais même à ce niveau, rappelons qu'il est essentiel d'utiliser les données d'accidents lorsqu'elles sont disponibles car comme c'est le cas pour tous les types de diagnostics, de meilleurs résultats peuvent être attendus d'une utilisation judicieuse de l'ensemble des informations disponibles.

RÉFÉRENCES

- American Association of State Highway and Transportation Officials (1997)** *Highway safety design and operations guide*, Washington, DC., 118 p. Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.
- Bélanger, C. (2002)** *Système intégré d'analyse de sécurité – Développements récents*, 37^e Congrès annuel de l'AQTR, Québec.
- Brindle, R.E. (1989)** *Road hierarchy and functional classification*, Chapter 2.1 in *Traffic engineering practice*, fourth edition, Victoria, Australia.
- Centre d'études des transports urbains et Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (1992)** *Sécurité des routes et des rues*, Bagneux, France, 436 p.
- Department for Transport, Local Government and the Regions: London (2001)** *A Road Safety Good Practice Guide (First Edition)*, London, UK.
- Department of Transport - London (1986)** *Accident investigation manual, Vol. 1. chapter 5 - Preliminary ranking of accident locations*, London.
- Fleury, D., Fliné, C., Peytavin, J.F., Ceccaldi, D. et Thiesselin S. (1990)** *Diagnostic de sécurité sur un département – Application au cas de l'Eure et Loir*, Rapport INRETS no 125, Arcueil (France) 199 p.
- Fleury, D. (1998)** *Sécurité et urbanisme - La prise en compte de la sécurité routière dans l'aménagement*, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 300 p.
- Gunnarsson S. O. (1999)**, *The traffic safety toolbox - A primer on traffic safety, Chapter 2 - Traffic planning*, Institute of Transportation Engineers, pp. 15-38.
- Joshua S. C. et Garber N.C.(1992)** *A causal analysis of large vehicle accidents through fault-tree analysis*, Risk analysis, V12, N2, pp 173-187.
- Kuzminski, P. Eisele J.S., Garber N., Schwing R., Haimés Y.Y., Li, D. et Chowdhury M.(1995)** *Improvement of highway safety I: Identification of causal factors through fault-tree modeling*, Risk analysis, V15, N3, pp. 293-312.
- Lerner, N.D., Llaneras, R. E., McGee, H. W., Taori, S. et Alexander, G. (2003)** *Additional investigations on driver information overload*, NCHRP Report 488, Transportation Research Board, Washington, DC., 25 p.
- Lunenfeld, H. et Alexander, G.J. (1990)** *A user's guide to positive guidance, 3rd Edition*, FHWA-SA-90-017, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Ogden, K.W. (1996)** *Safer Roads : A guide to road engineering*, Avebury Technical, 516 p.

ANNEXE 6-1

Notes complémentaires

PROBLÈMES ET SOLUTIONS (INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE)

Les interventions pouvant être mises en œuvre au niveau de l'infrastructure routière pour améliorer la sécurité consistent en des modifications à l'une ou l'autre des composantes suivantes :

- les caractéristiques géométriques de la route et de ses abords (tracé en plan, profil en long, profil en travers, abords de route, etc.);
- la gestion de la circulation (priorités de passage, interdictions de manœuvres, etc.);
- l'information transmise aux usagers de la route (signalisation, marquage, etc.).

Ces interventions pourront résoudre différents types de problèmes devant être identifiés lors d'un diagnostic de sécurité. Il peut s'agir de :

- **Écarts par rapport à des normes et pratiques établies**

Il faut vérifier si les caractéristiques du site satisfont les normes et pratiques qui ont été adoptées pour répondre aux besoins de mobilité et de sécurité des usagers. En cas d'écart, il faut déterminer si la situation peut être une cause d'insécurité et estimer le niveau de risque associé. Des interventions rapides seront nécessaires lorsque le risque d'accident (ou leur gravité potentielle) est élevé. Il faut vérifier les écarts par rapport aux :

- normes de conception géométriques (p. ex. distance de visibilité restreinte, rayon de courbure insuffisant, etc.);
- normes de signalisation, etc.;
- conditions de circulation acceptables (conflits de circulation sévères, délais excessifs, possibilités de dépassement insuffisantes, etc.);
- conditions d'entretien.

Il faut aussi aller au-delà de la simple vérification de normes individuelles et se demander si certaines combinaisons d'éléments, qui satisfont un à un les normes et pratiques en vigueur, peuvent former un tout hasardeux. Ce peut être le cas par exemple, de la combinaison d'un rayon de courbure minimal et d'un pourcentage de pente maximal.

- **Prise en compte inadéquate des capacités et limites des usagers (facteurs humains)**

Il faut aussi vérifier si les caractéristiques de l'environnement routier respectent les capacités et limites des usagers de la route. L'attention se situe donc ici au niveau de l'interface humain-route du système de sécurité et les principaux éléments à considérer sont le niveau de complexité de la **tâche de conduite** et les **attentes des conducteurs**.

- **Incohérence de l'environnement routier (cohérence)**

À ce niveau, l'analyste cherche à vérifier si l'ensemble des caractéristiques de l'environnement routier forment un tout suffisamment homogène pour permettre des déplacements sécuritaires. Il faut en d'autres termes vérifier si la fonction principale de la route, ses caractéristiques géométriques, les conditions de circulation et les conditions des abords de la route sont cohérents.

Il y aura évidemment des chevauchements importants au niveau des conclusions résultant de l'examen d'un site sous l'un ou l'autre de ces trois angles (déviations par rapport aux normes, facteurs humains et cohérence). Il s'agit en fait d'une situation souhaitable, puisque l'application des normes et des pratiques en vigueur devrait conduire à la mise en place d'environnements routiers qui respectent les capacités et limites des conducteurs tout en assurant un niveau de cohérence adéquat. L'expérience montre malheureusement que l'application stricte des normes ne garantit pas nécessairement la mise en place de conditions sécuritaires. C'est que d'une part, les normes ne peuvent tenir compte de toutes les combinaisons de facteurs pouvant être non sécuritaires et que d'autre part, l'évolution des connaissances devance nécessairement celle des normes. Il est donc recommandé d'analyser un site sous ces trois différents points de vue.

Étant donné leur importance, les notions de **tâche de conduite**, d'**attentes des conducteurs** et de **cohérence de la route**, sont décrits plus en détails dans les pages suivantes.

CLASSIFICATION ROUTIÈRE

Les manuels de conception routière définissent les différentes classes de routes pouvant être sélectionnées par les planificateurs et les concepteurs de routes ainsi que leurs caractéristiques respectives : fonction principale de trafic, vitesse de base, caractéristiques géométriques, débits de circulation, etc. Le respect de ces normes devrait conduire à la création d'environnements routiers qui sont compatibles avec des conditions d'exploitation sécuritaires. Aussi élémentaire que puisse paraître cette exigence, force est d'admettre qu'elle n'est pas toujours satisfaite en pratique. Il faut se rappeler que l'histoire de l'automobile ne remonte qu'à un siècle à peine et l'expérience acquise dans le développement de réseaux capables de répondre à la demande toujours croissante de transport ne s'est pas effectuée sans erreurs parfois lourdes de conséquences.

Des progrès récents ont en ce sens montré que des modifications profondes aux méthodes traditionnelles de classification des routes peuvent s'avérer nécessaires pour améliorer à la base la sécurité routière. Dans bien des cas, les usagers de la route sont incapables de distinguer les différentes catégories de routes d'un réseau et ne peuvent en conséquence déterminer ce qui y constitue une vitesse sécuritaire. Ce qui peut expliquer certains comportements à risque.

De telles modifications, qui sont au cœur du programme néerlandais de « sécurité durable », ont suscité dans ce pays des changements importants, tant dans le nombre de classes de routes que dans les caractéristiques rattachées à chacune. Les résultats de recherches et développements effectués en Suède, en Angleterre et en France apportent aussi des enseignements utiles à ce niveau. Il est à souhaiter que les pays dont le réseau routier est encore peu développé puissent tirer profit de ces connaissances pour développer des systèmes de classification routière qui éviteront les répétitions des mêmes erreurs.

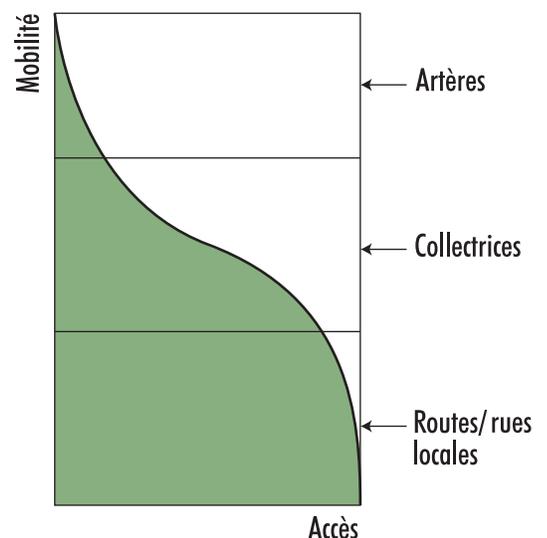
Les paragraphes suivants traitent de la classification fonctionnelle des routes, car il s'agit du système le plus utilisé par les administrations routières. Mais peu importe le système utilisé, il est essentiel de vérifier, lors d'un diagnostic de sécurité, si les caractéristiques du site étudié forment un tout suffisamment cohérent pour maintenir le risque d'accident à un niveau jugé acceptable. Dans le cas contraire, l'analyste devrait chercher à déterminer l'origine du problème : il est possible que les caractéristiques recommandées pour cette catégorie de route soient inadéquates, ou encore que les caractéristiques recommandées n'aient pas été appliquées de façon satisfaisante ou finalement que les conditions aient été adéquates au départ, mais se soient dégradées depuis l'ouverture de la route. Si le problème découle de lacunes du système de classification, il faudra alors procéder à sa révision, de façon à éviter la construction future de routes non sécuritaires. Bien qu'un tel exercice déborde clairement de la tâche de diagnostic et du mandat de l'analyste, il n'en demeure pas moins essentiel, dans une optique de sécurité durable. Certains problèmes fréquents de cohérence entre la fonction principale d'une route et ses autres attributs sont décrits ci-après.

Classification fonctionnelle

La classification fonctionnelle distingue deux fonctions opposées de trafic, soit la mobilité, qui vise à assurer des déplacements relativement rapides sur des distances pouvant être longues, et l'accès, qui permet les échanges entre la route ou la rue et les terrains adjacents. Une fonction intermédiaire (collectrice) doit nécessairement être prévue, afin de limiter le nombre d'accès sur les artères et les débits de circulation sur les routes à fonction d'accès. Une classification fonctionnelle de base est donc composée de trois types de routes, tel qu'illustré à la figure 6-A1.

Il faut aussi tenir compte des différences entre les zones rurales et urbaines, que ce soit en termes de densité de trafic et de conflits de circulation, de motifs et longueurs de déplacements, de types d'usagers (motorisés/non motorisés), de densité du réseau, d'occupation des sols et même des caractéristiques des accidents. Les routes rurales et urbaines doivent donc posséder des caractéristiques distinctes et cohérentes.

Figure 6-A1 Classification fonctionnelle



Le tableau 6-A1 précise les principales caractéristiques de ces catégories de routes; en pratique, chacune d'elles se subdivise à son tour en un certain nombre de sous-catégories qui varient d'un pays à l'autre de façon à prendre en compte la diversité d'environnements routiers pouvant satisfaire une même fonction de trafic. Personne ne sera surpris si, par exemple, les caractéristiques géométriques d'une artère rurale située en terrain plat et empruntée par 20 000 véhicules par jour - fort probablement une autoroute - diffèrent de celles d'une artère rurale en terrain montagneux, ayant un débit journalier de 3 000 véhicules par jour.

Tableau 6-A1 Classification fonctionnelle – Caractéristiques des routes

	ARTÈRE RURALE	ARTÈRE URBAINE
FONCTION DE CIRCULATION	Mobilité Liaison intervilles (niveau national)	Mobilité
CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES	Normes de conception élevées (tracé généreux, large profil en travers, possibilité de terre-plein central, abords de route dégagés)	Normes de conception élevées (tracé généreux, possibilité de voies multiples et de terre-plein central)
CONDITIONS DE CIRCULATION	Débits élevés Vitesses élevées Véhicules motorisés seulement	Débits élevés Vitesses relativement élevées Véhicules motorisés seulement (chaussée libre de piétons et de cyclistes; des couloirs distincts leurs sont aménagés au besoin) Possibilité de baies d'arrêts de bus
INTERSECTIONS ET ACCÈS	Autoroutes : pas d'intersection ni d'accès (entrées et sorties aux échangeurs seulement) Artères : pas d'entrée privée (intersections bien espacées seulement)	Autoroutes : pas d'intersection ni d'accès (entrées et sorties aux échangeurs seulement). Artères : pas d'entrée privée (intersections bien espacées seulement, parfois à feux) Pas de stationnement en bordure de la route
	COLLECTEUR RURAL	COLLECTEUR URBAIN
FONCTION DE CIRCULATION	Liaisons entre villes moyennes (niveau régional)	Liaisons entre quartiers
CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES	Normes de conception intermédiaires	Normes de conception intermédiaires
CONDITIONS DE CIRCULATION	Vitesses et débits moyens Les proportions respectives du trafic local et en transit varient suivant l'importance du collecteur	Vitesses et débits moyens Les proportions respectives du trafic local et en transit varient suivant l'importance du collecteur Couloirs séparés (trottoirs ou autres) pour les piétons et autres usagers non motorisés Arrêts de bus éventuels le long de la route
INTERSECTIONS ET ACCÈS	Intersections plus rapprochées Entrées privées réglementées mais non interdites	Intersections plus rapprochées Entrées privées réglementées mais non interdites Stationnement interdit sur les collecteurs importants mais peut être permis sur les collecteurs secondaires
	ROUTE LOCALE RURALE	RUE RÉSIDENIELLE URBAINE
FONCTION DE CIRCULATION	Accès aux terrains riverains	Accès aux propriétés riveraines
CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES	Normes de conception adaptées à des vitesses plus basses Deux voies, parfois même une seule	Normes de conception encouragent les vitesses peu élevées (voies étroites, routes sans issues, boucles, etc.)
CONDITIONS DE CIRCULATION	Vitesses et débits peu élevés Usagers locaux et véhicules de livraison Présence possible d'usagers non motorisés	Vitesses et débits peu élevés Usagers locaux et véhicules de livraison Usagers non motorisés normalement présents en grand nombre et partagent la chaussée avec les véhicules
INTERSECTIONS ET ACCÈS	Nombre d'intersections et d'accès non réglementé, mais leurs caractéristiques géométriques doivent être sécuritaires	Nombre d'intersections et d'accès non réglementé, mais leurs caractéristiques géométriques doivent être sécuritaires Stationnement sur rue est permis

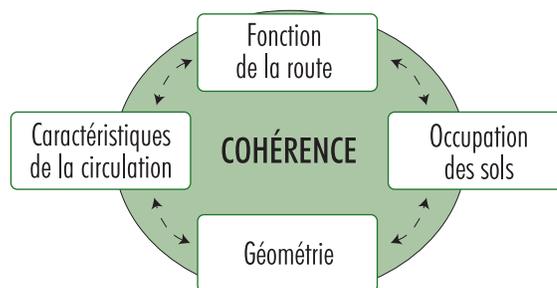
COHÉRENCE DE L'ENVIRONNEMENT ROUTIER

Le conducteur adopte une vitesse qui répond à ses besoins de mobilité et de sécurité en traitant les informations contenues dans l'environnement routier. Si ces informations sont ambiguës, son comportement sera hésitant. À l'inverse, si l'environnement routier est cohérent et que les informations présentées sont claires, le comportement des conducteurs sera plus homogène et approprié.

Pour qu'un environnement routier soit cohérent, toutes ses composantes doivent être harmonisées :

- fonction de la route
mobilité, distribution (collecte), accès;
- caractéristiques de la circulation
types d'utilisateurs, débits de circulation, etc.;
- géométrie
tracé en plan, profil en travers, etc.;
- occupation des sols
résidentiel, commercial, agricole, etc.

Figure 6-A2 Cohérence de l'environnement routier



Certains principes de base sont à respecter. Il faut ainsi :

- éviter les combinaisons de fonctions sur une même route (routes mono-fonctionnelles);
- éviter les combinaisons de caractéristiques qui transmettent des messages contradictoires aux utilisateurs (quelques exemples sont illustrés à la figure 6-A5);
- éviter les différentiels de vitesse et de masse importants;
- s'assurer de la prise en compte des besoins de tous les types d'utilisateurs (en apportant une attention particulière à la plus grande vulnérabilité des utilisateurs non motorisés).

L'exigence de mono-fonctionnalité est discutée plus en détail dans les prochains paragraphes.

Éviter les combinaisons de fonctions sur une même route

Les faibles taux d'accidents observés sur les autoroutes n'assurant qu'une fonction de mobilité et sur les rues d'accès qui ont été planifiées et conçues pour exclure le trafic en transit, démontrent clairement les avantages d'une séparation de ces deux fonctions opposées. À l'inverse, on constate souvent des problèmes de sécurité sur les routes ayant une fonction mixte de mobilité et d'accès. Les problèmes suivants sont fréquents et leur occurrence au site devrait être vérifiée lors de la visite de terrain :

1) Des artères avec de nombreux points d'accès; cette situation est souvent une conséquence directe de l'absence de mécanismes de contrôle adéquats. Il peut s'agir :

- de l'étalement de petites agglomérations le long d'artères rurales, qui crée des conflits de circulation entre les utilisateurs en transit circulant plus rapidement et les utilisateurs locaux qui effectuent des manœuvres d'accès et de sortie à basse vitesse. Le problème est pire lorsqu'il s'agit de conflits entre utilisateurs motorisés et utilisateurs plus vulnérables (piétons, cyclistes, etc.). Il importe donc de maintenir une séparation claire entre zones urbaines et zones rurales.
- de l'expansion de zones commerciales le long des artères, qui peut aussi créer des combinaisons d'utilisateurs à risque : (véhicules lents/rapides ou lourds/légers). Dans de tels cas, le manuel anglais « *Road safety good practice guide* » (Department for Transport, 2001) recommande :
 - de séparer les fonctions de trafic (mobilité, distribution, accès); si la route n'est pas suffisamment large pour permettre une telle séparation, la fonction de la route principale doit être diminuée;

- d'accorder une plus grande priorité aux piétons et aux cyclistes, en leur réservant des espaces distincts (voies cyclables, trottoirs larges);
- d'installer des aménagements physiques de type « porte d'entrée » qui accentuent les changements de types de route;
- de faciliter certaines manoeuvres et d'en interdire d'autres pouvant être dangereuses;
- de rétrécir la largeur des voies et de canaliser les mouvements (en pensant aussi aux cyclistes).

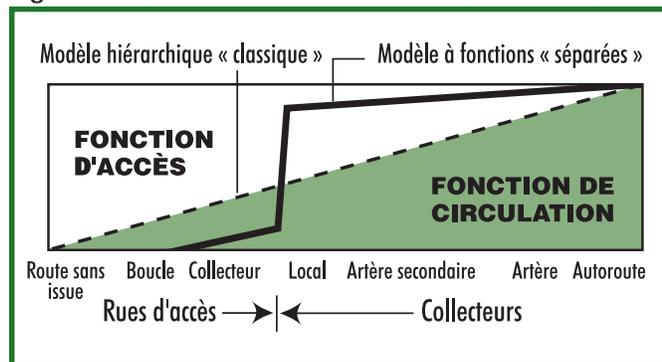
2) Des routes d'accès où circulent des volumes importants d'utilisateurs non riverains; ce qui est généralement une conséquence directe d'erreurs commises aux étapes de planification ou de conception de projets (p. ex. trame routière permettant de prendre des raccourcis à travers un quartier résidentiel). Il existe désormais de nombreux dispositifs de « modération de la circulation » permettant de réduire les volumes de circulation et les vitesses sur ce type de route (fermetures de rues ou de routes, déviations horizontales ou verticales, etc.).



Exemple – Mesures de modération de la circulation

3) Les collectrices où les fonctions de mobilité et d'accès cohabitent de façon non sécuritaires. Selon Brindle (1989), une des conséquences directes d'un système de classement fonctionnel classique est de favoriser la création d'un grand nombre de routes à fonctions mixtes, qui présentent un problème de taille du point de vue de la sécurité. Il recommande plutôt, sur la base de l'expérience britannique, une séparation claire et nette entre routes d'accès et routes de mobilité (figure 6-A3). Bien que la fonction de collectrice soit inévitable pour assurer l'intégrité des fonctions de mobilité et d'accès, elle est sans aucun doute celle pour laquelle il est le plus difficile de définir (et de préserver) des conditions d'exploitation sécuritaires.

Figure 6-A3 Modèles de classification routière



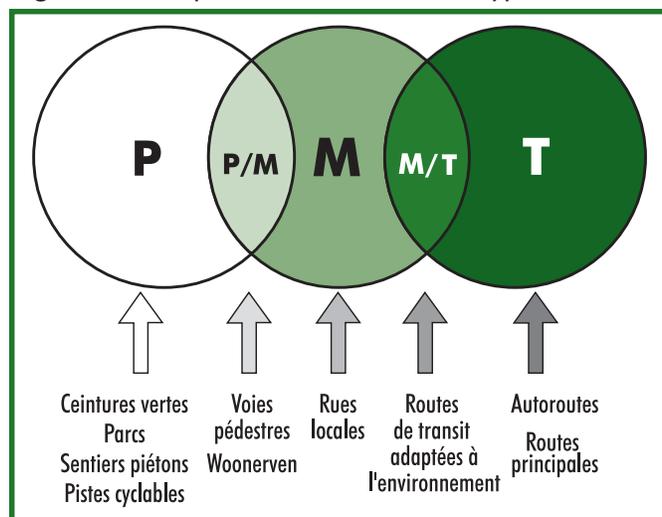
Source : Brindle, 1989

Gunnarsson (1999) propose, pour le milieu urbain, une méthode de classification différente et intéressante, qui repose sur la définition de cinq « espaces » distincts :

- P : espace libre piéton
- P/M : espace piéton intégré
- M : espace de modération de la circulation
- M/T : espace intégré de modération de la circulation et du transport motorisé
- T : espace de transport motorisé

À chacun de ces espaces correspond un certain nombre de catégories de routes qui sont compatibles avec un mode d'exploitation sécuritaire (figure 6-A4).

Figure 6-A4 Espaces de circulation et types de routes



Source : Gunnarsson, 1999

Figure 6-A5 Exemples – Problèmes de cohérence



La rue est beaucoup trop large pour les besoins de circulation, ce qui est un incitatif à l'adoption de vitesses excessives.



Les caractéristiques de cette route et de ses abords ne sont pas adaptées à sa fonction de mobilité et aux débits de circulation élevés.



Combinaison hasardeuse d'usagers motorisés et non motorisés (urbain).



Combinaison hasardeuse d'usagers motorisés et non motorisés (rural).



Structure de drainage hasardeuse sur une artère rurale. (l'usager de la route qui déborde sur l'accotement peut être dirigé vers une structure verticale en béton.)



Incohérence entre la limite de vitesse affichée et le niveau de développement des abords.

LA TÂCHE DE CONDUITE – CHARGE DE TRAVAIL

La tâche de conduite est souvent représentée comme étant composée de trois sous-tâches : le contrôle, le guidage et la navigation (*chapitre 3*). Pour accomplir ces tâches, un conducteur doit :

- traiter plusieurs informations relatives à l'infrastructure routière : tracé de la route, profil en plan, largeur des voies et des accotements, canalisation, signalisation, etc.;
- prendre en considération les règles de circulation (arrêt obligatoire, interdiction de virage, etc.) et interagir avec les autres usagers de la route qui peuvent ralentir ou arrêter, s'insérer dans la circulation, dépasser un autre véhicule, etc.;
- tenir compte des caractéristiques de son véhicule : dimensions, capacités d'accélération et décélération, stabilité, etc.

Son attention peut également être accaparée par des stimuli qui sont présents dans l'environnement routier, même s'ils ne sont pas liés à la tâche de conduite : panneau publicitaire, vue panoramique, activité se déroulant en bordure de la route. Les distractions possibles sont nombreuses, surtout en milieu urbain.

La quantité d'informations présente dans l'environnement routier excède de beaucoup les capacités de traitement de l'information de l'humain (aux vitesses habituelles de conduite)².

Mais malgré ce fait, les conducteurs réussissent dans la très grande majorité des cas non seulement à effectuer leur tâche de conduite avec succès mais aussi à conserver une partie de leur attention pour des activités connexes : changer de station de radio, discuter, boire, planifier les activités de la prochaine fin de semaine, etc.

Cette situation est attribuable en bonne partie à l'utilisation répétée des mêmes normes et pratiques de conception et d'exploitation des routes, ce qui favorise le développement d'automatismes de conduite:

- la même information (et séquence d'information) est toujours utilisée pour les mêmes conditions routières (p. ex. la même séquence de panneaux de signalisation à l'approche d'un même type d'intersection);
- la complexité de chacun des messages est contrôlée (p. ex. en favorisant l'utilisation de pictogrammes plutôt que de longs messages textuels);
- les messages importants sont répétés, ce qui accroît la probabilité de leur détection;
- le nombre d'informations critiques à un même endroit est limité (étalement de l'information);
- l'information critique est mise en évidence par rapport au reste des informations contenues dans l'environnement routier (p. ex. un panneau d'arrêt doit être plus visible qu'une publicité placée à ses côtés, principalement si l'obligation d'arrêt n'est pas nécessairement évidente);
- la quantité d'éléments pouvant accroître la complexité de la tâche de conduite est réduite à mesure que la vitesse augmente (p. ex. les intersections et manoeuvres de virages sont interdites sur autoroute).

Les conducteurs peuvent cependant éprouver des difficultés lorsque ces principes ne sont pas respectés. Face à une situation critique, ils cesseront toute activité non essentielle à la conduite, mais lorsque ceci n'est pas suffisant, ils pourront commettre des erreurs. Une caractéristique commune à plusieurs sites accidentogènes est qu'ils sont beaucoup plus exigeants au niveau de la quantité ou de la complexité d'informations devant être traitées par les conducteurs.

² À cet égard, le cerveau humain peut être comparé à un processeur à canal unique, qui ne peut traiter qu'un nombre limité de bits d'informations par unité de temps. Si le nombre ou la complexité des informations à traiter excède la capacité du processeur et que la durée du traitement ne peut-être allongée (par un ralentissement de vitesse) sans risque excessif, certaines informations ne peuvent être traitées.

Selon Lunenfeld et Alexander (1990), les facteurs à prendre en considération pour déterminer la charge d'information sont :

- type d'occupation des sols;
- contrôle des accès;
- débits de circulation;
- vitesse;
- tâches et manœuvres;
- éléments hasardeux (quantité et visibilité);
- distance de visibilité;
- situations contraires aux attentes;
- informations confuses ;
- hiérarchie de l'information;
- complexité de l'information.

Un modèle a récemment été développé pour évaluer la charge d'information imposée aux conducteurs à l'approche d'un groupe de panneaux de signalisation sur autoroute (Lerner et al., 2003). Selon ce modèle, l'attention d'un conducteur doit se partager entre deux principales sources, soit la recherche d'informations et les exigences de la tâche de conduite (figure 6-A6).

Temps de réaction

La figure 6-A7 montre comment le temps de réaction augmente avec la quantité d'information à traiter. On constate que les temps de réaction généralement utilisés en génie routier (1 seconde en milieu urbain et 2,0 - 2,5 secondes en milieu rural) correspondent à des situations peu complexes.

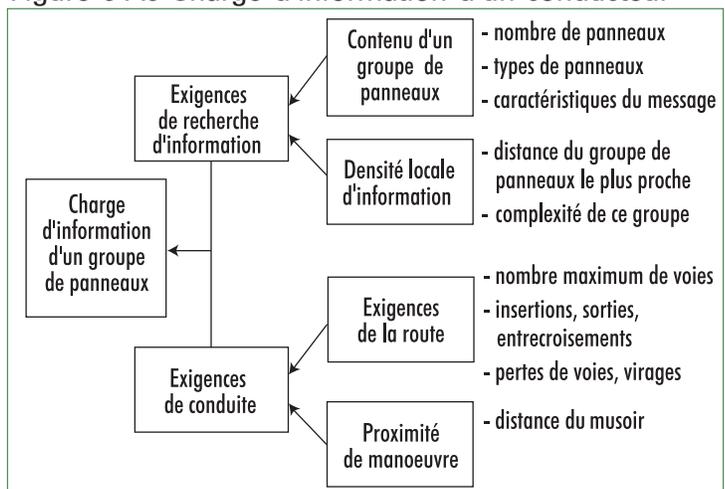
Somnolence et inattention

Le conducteur relâche son attention s'il n'est pas suffisamment stimulé. Il allouera alors une plus grande partie de ses capacités de traitement à d'autres actions ou pensées et de ce fait, devient moins conscient de son environnement routier. Sous de telles conditions, il peut ne pas être en mesure de réagir correctement face à une situation routière requérant une augmentation subite de son attention, ce qui pourra ici encore engendrer des erreurs de conduite. Des problèmes de somnolence peuvent aussi survenir, particulièrement la nuit et en milieu rural.



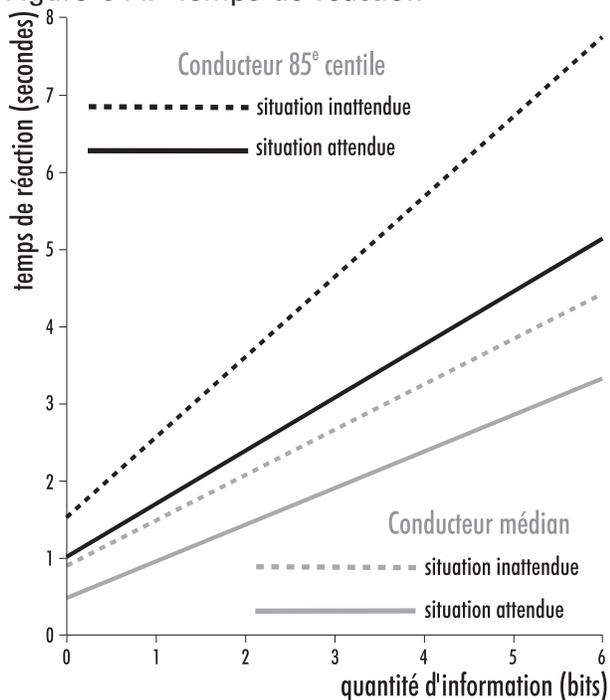
Information complexe à un point de décision

Figure 6-A6 Charge d'information d'un conducteur



Source : National Cooperative Highway Research Program, 2003

Figure 6-A7 Temps de réaction



Source : A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Copyright 2001, par l'American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reproduit avec permission.

1 bit = une décision (p. ex. tourner à gauche/à droite, vite/lentement, etc.)

ATTENTES DES CONDUCTEURS

En conduite, les attentes sont définies comme étant « *le niveau de préparation des conducteurs à répondre à des situations, événements et informations de façon prévisible et avec succès* » (Lunenfeld et Alexander, 1990). Les attentes sont fortement conditionnées par l'expérience. Face à une situation inattendue, les conducteurs sont plus susceptibles de commettre des erreurs, ce qui augmente les probabilités d'accidents. D'après ces mêmes auteurs :

- *plus les caractéristiques d'une route sont prévisibles, moins les chances d'erreurs sont grandes;*
- *les attentes sont liées à tous les aspects de la conduite; les aménagements géométriques, les conditions de circulation et les règles de circulation qui sont contraires aux attentes des usagers, augmentent le temps de réaction, la confusion, les réponses incorrectes et les erreurs de conduite;*
- *les conducteurs ont tendance à s'attendre aux situations et aux événements qui se répètent le long d'une même route;*
- *en l'absence d'indices du contraire, les conducteurs supposent qu'ils n'auront à réagir qu'à des situations habituelles;*
- *les conducteurs ont plus de difficulté dans les zones de transition et aux endroits où les caractéristiques géométriques ou opérationnelles sont inhabituelles;*

Différents niveaux d'attentes peuvent être reconnus (Lunenfeld et Alexander, 1990; Ogden, 1996) :

1. Attentes à long terme :

Communes à la plupart des conducteurs, ce sont celles auxquelles ils ont été conditionnés par toute leur expérience de conduite : les panneaux d'arrêts, par exemple, ont toujours la même forme, couleur, dimension et ils sont toujours placés au même endroit à une intersection, les sorties d'autoroutes se trouvent toujours du même côté de la route, le feu rouge fait toujours suite au feu jaune, etc.

2. Attentes à court terme :

Ce sont celles acquises au cours d'un déplacement. Ainsi par exemple, un conducteur qui roule sans interruption depuis plusieurs kilomètres sur une route principale en milieu rural pourra être surpris par la présence soudaine d'un panneau d'arrêt si rien d'autre n'a changé dans l'environnement routier.

C'est dire qu'il faut chercher à éviter les discontinuités le long des routes. Il peut s'agir de changements au niveau des :

- caractéristiques géométriques :
tracé (première courbe raide ou pente abrupte), chaussées séparées ou contiguës, largeur des voies ou des accotements, fin d'une voie, caractéristiques de la surface de roulement, état des abords de route, conditions d'éclairage, etc.;
- pratiques de signalisation et de marquage;
- caractéristiques de circulation (débits, types d'usagers, manoeuvres);
- occupation des sols;
- zones de travaux.

Lorsque de tels changements ne peuvent être évités, il faut avertir adéquatement les conducteurs de la situation à venir par un traitement approprié dans la zone de transition.

3. Attentes liées à un événement :

Les conducteurs s'attendent que ce qui ne s'est jamais produit ne se produira pas. Par exemple, le conducteur qui passe régulièrement à une traverse à niveau sans jamais voir de train ne s'attend pas à en croiser un à cet endroit.

Figure 6-A8 Exemples - Violations des attentes des conducteurs



Feux inattendus sur une artère rapide (les traces de freinage indiquent que certains usagers ne s'attendent pas à devoir arrêter).



Intersection en T inattendue au pied d'une pente en milieu rural (traces de freinage).



Tracé de route ambiguë : la route principale semble aller tout droit mais elle tourne à droite (possibilité de conflit de circulation).



Une géométrie inhabituelle à un croisement de route requiert une signalisation excessive.



Panneau d'arrêt dissimulé par un véhicule stationné. Les conducteurs ne connaissant pas l'endroit ne peuvent savoir qu'ils doivent arrêter.



Combinaison dangereuse de tracé en plan et de profil en long : les conducteurs ne voient pas la courbe horizontale.

ANNEXE 6-2

Tables d'accidents

FACTEURS CONTRIBUTIFS

INTERSECTION - COLLISIONS ARRIÈRE

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
Capacité	Collisions frontales avec un véhicule tournant	<p>Les débits de véhicules tournant sont-ils élevés?</p> <p>Les véhicules tournant bloquent-ils les voies tout-droit?</p> <p>La capacité de l'intersection est-elle suffisante?</p> <ul style="list-style-type: none"> - calculer la capacité, les niveaux de service; - vérifier les créneaux disponibles, retards, files de véhicules; - les accidents se produisent-ils aux heures de pointe? <p><u>Aux feux :</u></p> <p>Le réglage des feux répond-il à la demande (longueur des phases, nécessité de phases exclusives de virage)?</p> <p>Y a-t-il une séquence de feux inhabituelle pouvant porter à confusion?</p>
Protection Manoeuvres de virage	Collisions frontales avec un véhicule effectuant un virage	Les véhicules effectuant des manoeuvres de virage non prioritaires sont-ils à l'écart de la circulation directe (voie de virage)?
<i>État de la surface de roulement</i>	<p>Accidents sur chaussée mouillée</p> <p>Accidents impliquant un seul véhicule</p>	<p>L'adhérence est-elle suffisante?</p> <ul style="list-style-type: none"> - surface polie, ressuage, contamination. <p>Vérifier si des défauts de surface peuvent engendrer des manoeuvres d'évitement dangereuses (nids de poule, ondulations, autres déformations, accumulations d'eau).</p>
Comportement des conducteurs	<p>Collisions à angle droit</p> <p>Collisions frontales avec un véhicule effectuant un virage</p>	Vérifier si les vitesses sont excessives, si les véhicules se talonnent, si les créneaux de manoeuvre utilisés sont trop courts ou si certains conducteurs ont un comportement agressif.
<i>Distance de visibilité</i>	<p>Collisions à angle droit</p> <p>Accidents impliquant un seul véhicule</p>	<p>Les distances de visibilité sont-elles suffisantes pour freiner et compléter toutes les manoeuvres permises en sécurité?</p> <ul style="list-style-type: none"> - observer/mesurer les distances de visibilité disponibles et comparer aux distances de visibilité requises; - vérifier les distances de visibilité en amont des files d'attente potentielles.
Intersection inattendue	<p>Collisions à angle droit</p> <p>Accidents impliquant un seul véhicule</p>	<p>L'intersection est-elle bien visible?</p> <p>La présence de l'intersection est-elle cohérente dans cet l'environnement routier?</p> <ul style="list-style-type: none"> - vérifier : vitesses excessives, freinages tardifs, traces de freinage.
Présence d'accès	Accidents liés à la présence d'accès	<p>Les accidents sont-ils liés à des manoeuvres à des accès situés à proximité de l'intersection?</p> <p>La présence des accès est-elle attendue (visibilité, catégorie de route)?</p> <p>La géométrie des accès est-elle adéquate (largeur, canalisation, biseau d'insertion ou de sortie)?</p>
Éclairage routier	Accidents de nuit	<p>Vérifier la fréquence d'accidents de nuit.</p> <p>Vérifier la présence et l'état du système d'éclairage (de nuit).</p>
Présence de piétons ou de cyclistes	Collisions avec piétons ou cyclistes	<p>Les piétons/cyclistes qui traversent sont-ils bien visibles?</p> <ul style="list-style-type: none"> - y a-t-il des obstacles qui nuisent à la visibilité des piétons ou cyclistes (véhicules garés ou arrêtés, kiosques, etc.)? - les piétons et cyclistes respectent-ils les règles de circulation? - y a-t-il des conflits de circulation liés aux piétons/cyclistes?
Conditions météo	Accidents par mauvais temps (pluie, brouillard, etc.).	La visite du site doit être effectuée lorsque ces conditions sont susceptibles d'être observées.

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

INTERSECTION - COLLISIONS FRONTALES AVEC UN VÉHICULE TOURNANT

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
Capacité	Collisions arrière	<p>Les débits de véhicules tournant sont-ils élevés? Les véhicules tournant bloquent-ils les voies tout-droit? La capacité de l'intersection est-elle suffisante? - calculer la capacité, les niveaux de service; - vérifier les créneaux disponibles, retards, files de véhicules; - les accidents se produisent-ils aux heures de pointe?</p> <p><u>Aux feux :</u> Le réglage des feux répond-il à la demande (longueur des phases, nécessité de phases exclusives de virage)? Y a-t-il une séquence de feux inhabituelle pouvant porter à confusion?</p>
Protection Manoeuvres de virage	Collisions arrière	<p>Les véhicules effectuant des manoeuvres de virage sont-ils à l'écart de la circulation directe (voie de virage)? Les conducteurs effectuant des manoeuvres de virage ont-ils tendance à hâter leur manoeuvre pour éviter d'être heurtés par des véhicules qui s'approchent rapidement par l'arrière?</p>
Comportement des conducteurs	Collisions arrière Collisions à angle droit	<p>Vérifier si les créneaux de manoeuvre utilisés sont trop courts, si les feux rouges sont respectés et si les vitesses sont excessives. <u>Vitesse</u> Les conducteurs qui tournent peuvent-ils avoir de la difficulté à estimer la vitesse des véhicules en direction opposée?</p>
<i>Distance de visibilité</i>	Collisions à angle droit Accidents impliquant un seul véhicule	<p>La distance de visibilité est-elle suffisante pour permettre des manoeuvres de virage sécuritaires? - observer/mesurer les distances de visibilité disponibles, comparer aux distances de visibilité requises. <u>Aux feux :</u> - vérifier si les têtes de feux sont bien visibles.</p>
Présence d'accès	Accidents liés à la présence d'accès	<p>Les accidents sont-ils liés à des manoeuvres à des accès situés à proximité de l'intersection? La présence des accès est-elle attendue (visibilité, catégorie de route)? La géométrie des accès est-elle adéquate (largeur, canalisation, biseau d'insertion ou de sortie)?</p>

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

INTERSECTION - COLLISIONS À ANGLE

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
Capacité	Collisions arrière	La capacité de l'intersection est-elle suffisante? - calculer la capacité et les niveaux de service; - vérifier les créneaux disponibles, retards , files de véhicules; - les accidents se produisent-ils aux heures de pointe? <u>Aux feux :</u> La durée de chaque phase et les intervalles de dégagement (jaune et rouge intégral) sont-ils adéquats? Y a-t-il une séquence de feux inhabituelle pouvant porter à confusion?
<i>Distance de visibilité</i>	Collisions arrière Accidents impliquant un seul véhicule	La distance de visibilité est-elle suffisante pour compléter les manoeuvres non prioritaires de façon sécuritaire? - observer/mesurer les distances de visibilité disponibles, comparer aux distances de visibilité requises. <u>Aux feux :</u> - vérifier si les têtes de feux sont bien visibles.
Comportement des conducteurs	Collisions arrière Collisions frontales avec un véhicule effectuant un virage	Vérifier l'utilisation de créneaux trop courts, le non-respect des feux rouges, les vitesses excessives.
Signalisation		La signalisation est-elle conforme aux normes (séquence, dimension, emplacement, hauteur)? Le panneau d'arrêt est-il bien visible? - vérifier la présence d'objets pouvant nuire à la visibilité de l'arrêt (véhicules garés ou arrêtés, arbres, kiosques, etc.).
Marquage		La ligne d'arrêt est-elle clairement visible? L'emplacement d'arrêt des véhicules est-il sécuritaire?
Largeur de la chaussée		La largeur excessive des voies ou de la chaussée rend-elle les manoeuvres difficiles? - distances de manoeuvres excessives; - vitesses de manoeuvres excessives.
Rayon de virage		<u>Rayons de virage excessifs</u> Les rayons de virage trop grands encouragent-ils les manoeuvres de virage à vitesse élevée ou les arrêts incomplets? <u>Rayons de virage trop courts</u> Les rayons de virage trop courts entraînent-ils des empiètements des véhicules lourds sur les voies adjacentes?
Intersection inattendue	Collisions arrière Collisions impliquant un seul véhicule	La présence de l'intersection peut-elle surprendre les conducteurs non familiers? - visibilité et lisibilité et de l'intersection; - cohérence de l'intersection dans l'environnement routier (premier arrêt obligatoire après plusieurs kilomètres, fin de route à grande vitesse); - vérifier : vitesses excessives, freinages tardifs, traces de freinage.
Conditions météo	Accidents par mauvais temps (pluie, brouillard, etc.)	La visite du site doit être effectuée lorsque ces conditions sont susceptibles d'être observées.

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

INTERSECTION - PIÉTONS/CYCLISTES

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
Protection insuffisante		<p>Les piétons sont-ils suffisamment protégés par l'aménagement actuel?</p> <ul style="list-style-type: none">- traverses (emplacement, largeur, refuge central, matériau signalisation, marquage);- vérifier les temps de traversée, les créneaux disponibles, les retards imposés aux piétons. <p><u>Feux</u></p> <ul style="list-style-type: none">- un système de feux avec phase exclusive pour piétons est-il requis?- les phases piétons sont-elles de longueurs suffisantes? <p>La sécurité de toutes les catégories de piétons est-elle prise en compte?</p> <ul style="list-style-type: none">- landaus, enfants, personnes âgées, handicapés, fauteuils roulants (p. ex. bordures surbaissées, pentes douces, mains courantes, etc.).
<i>Visibilité</i>		<p>Les piétons et cyclistes sont-ils bien visibles lorsqu'ils traversent?</p> <ul style="list-style-type: none">- les obstructions à la visibilité peuvent être permanentes (p. ex. courbe verticale, immeuble), temporaires (p. ex. véhicule garé) ou saisonnières (p. ex. végétation, neige). <p><u>Feux</u></p> <p>Les piétons peuvent-ils bien voir les têtes des feux prévus à leur intention (p. ex. dissimulé par un bus arrêté)?</p>
Comportement		<p><u>Vitesse</u></p> <p>Les vitesses des véhicules sont-elles un danger pour les piétons (compte tenu des temps de traversée et des distances de visibilité)?</p> <p><u>Conducteurs de véhicules motorisés</u></p> <p>Cèdent-ils le passage aux piétons et aux cyclistes?</p> <p>Respectent-ils la réglementation (arrêts obligatoires, feux rouges)?</p> <p><u>Piétons/cyclistes</u></p> <p>Traversent-ils aux endroits désignés?</p> <p>Traversent-ils aux moments qui leur sont alloués (feu vert ou signal piéton)?</p>
Éclairage routier	Accidents de nuit	<p>Vérifier la fréquence d'accidents de nuit.</p> <p>Vérifier la présence et l'état du système d'éclairage (de nuit).</p> <p>Les aménagements pour piétons/cyclistes sont-ils adéquats pour un usage nocturne?</p>

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

SECTION - ACCIDENTS IMPLIQUANT UN SEUL VÉHICULE

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
<i>Courbe horizontale</i>	Collisions frontales Accidents sur chaussée mouillée	La courbe horizontale est-elle clairement visible? Les conducteurs doivent-ils diminuer leur vitesse de façon importante à l'approche de la courbe? [<i>différentiels de vitesse</i>] La signalisation et les dispositifs d'avertissement sont-ils adaptés aux caractéristiques de la route (p. ex., première courbe raide)? - vérifier : freinages tardifs, traces de freinage, empiétements.
<i>Pente descendante</i>	Accidents de camion Collisions arrière	Les caractéristiques de la pente sont-elles évidentes (p. ex. pente composée)? Vérifier les sources de conflits de circulation, surtout au bas de la pente? La signalisation et les autres dispositifs d'avertissement sont-ils adaptés aux caractéristiques de la pente? Les possibilités d'échauffement des freins sont-elles faibles? [<i>analyse des pentes</i>] Les équipements de sécurité sont-ils adaptés aux caractéristiques de la pente et de la circulation (aire de vérification des freins, lit d'arrêt)? L'aménagement des voies lentes permet-il des conditions de circulation sécuritaires (longueur des voies, caractéristiques des biseaux)? Les vitesses de descente des camions sont-elles sécuritaires?
<i>Profil en travers</i>	Collisions frontales Collisions latérales	L'état général du profil en travers est-il adéquat pour la catégorie de route et les conditions de la circulation (p. ex. voies trop étroites pour les véhicules lourds)? La canalisation est-elle adéquate (hauteur des bordures, alignement, traitement des extrémités)? Les transitions sont-elles adéquates aux changements de profil en travers (divisé/contiguë, perte de voie)? Y a-t-il des bandes rugueuses si requises? - vérifier : empiétements, dénivellation voie/accotement.
<i>État de la surface de roulement</i>	Accidents sur chaussée mouillée Collisions arrière	L'adhérence est-elle suffisante? - surface polie, ressuage, contamination. Vérifier si des défauts de surface peuvent engendrer des manoeuvres d'évitement hasardeuses (nids de poule, déformations, accumulations d'eau, etc.).
<i>Abords de route</i>		Les abords de la route sont-ils libres d'obstacles pouvant aggraver les conséquences de pertes de contrôle (talus abrupts, obstacles rigides, extrémités de structures inadéquates)?
<i>Distance de visibilité</i>		Les distances de visibilité sont-elles suffisantes pour permettre des manoeuvres d'arrêt sécuritaires? - observer ou mesurer les distances de visibilité disponibles, comparer aux distances de visibilité d'arrêt requises; [<i>distance de freinage (courbe)</i>] - vérifier la présence d'obstructions visuelles du côté intérieur des courbes. Vérifier les sources de conflits de circulation ou les éléments hasardeux aux endroits où la visibilité est restreinte (intersection, traverse, accès, structure étroite, etc.)?
<i>Présence d'accès</i>	Collisions liées à la présence d'accès	Les accidents sont-ils liés à des manoeuvres aux accès? La présence des accès est-elle attendue (visibilité, catégorie de route)? La géométrie des accès est-elle adéquate (largeur, canalisation, voie supplémentaire)?
<i>Vitesse</i>	Collisions frontales	Les vitesses pratiquées sont-elles compatibles avec des conditions de circulation sécuritaires (en fonction des caractéristiques de la route)?
<i>Éclairage routier</i>	Accidents de nuit	Vérifier la fréquence d'accidents de nuit. Vérifier la présence et l'état du système d'éclairage (de nuit).
<i>Animaux</i>	Collisions avec animaux	Vérifier la fréquence des accidents avec animaux.
<i>Conditions météo</i>	Accidents par mauvais temps (pluie, brouillard, etc.)	La visite du site doit être effectuée lorsque ces conditions sont susceptibles d'être observées.
<i>Combinaison de facteurs</i>		Y a-t-il une combinaison de facteurs pouvant accroître le risque d'accident ou leur gravité (courbe, pente, intersection, accès, pont étroit, etc.)?

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

SECTION - COLLISIONS ARRIÈRE

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
Capacité		<p>La capacité est-elle suffisante?</p> <ul style="list-style-type: none"> - calculer la capacité, les niveaux de service; - temps de déplacements, pelotons; - les accidents se produisent-ils aux heures de pointe? <p><u>Mouvements de virage</u> Les véhicules qui tournent bloquent-ils les voies directes?</p>
Congestion inattendue	Accidents impliquant plusieurs véhicules	La visite du site doit être effectuée aux heures où la congestion est susceptible d'être observée.
Présence d'accès	Collisions liées à la présence d'accès	<p>Les accidents sont-ils liés à des manoeuvres aux accès?</p> <p>La présence des accès est-elle attendue (visibilité, catégorie de route)?</p> <p>La géométrie des accès est-elle adéquate (largeur, canalisation, biseau d'insertion ou de sortie)?</p>
<i>Distance de visibilité</i>		<p>La distance de visibilité est-elle suffisante pour permettre des manoeuvres d'arrêt sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - observer/mesurer les distances de visibilité disponibles, comparer aux distances de visibilité d'arrêt requises; <p>[distance de freinage (courbe) ]</p> <p>Vérifier les sources de conflits de circulation ou les éléments hasardeux aux endroits où la visibilité est restreinte (intersection, traverse, accès, structure étroite, etc.)?</p>
Comportement des conducteurs	Collisions impliquant un seul véhicule	Vérifier : vitesses excessives, véhicules qui se talonnent, manoeuvres de dépassement dangereuses.
<i>État de la surface de roulement</i>	Accidents sur chaussée mouillée Collisions arrière	<p>L'adhérence est-elle suffisante?</p> <ul style="list-style-type: none"> - surface polie, ressuage, contamination.
Conditions météo	Accidents par mauvais temps (pluie, brouillard, etc.).	La visite du site doit être effectuée lorsque ces conditions sont susceptibles d'être observées.

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

SECTION - COLLISIONS FRONTALES

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
Capacité	Collisions impliquant un seul véhicule	La capacité est-elle suffisante? - calculer la capacité, le niveau de service; - temps de déplacement, pelotons; - les accidents se produisent-ils aux heures de pointe? <u>Possibilités de dépassement</u> Les possibilités de dépassement soit-elles suffisantes pour la catégorie de route et les conditions de circulation (créneaux dans la circulation en sens inverse, voie de dépassement)?
Marquage	Collisions latérales	La ligne axiale est-elle clairement marquée? Le marquage interdit-il clairement les dépassements aux endroits dangereux? Le marquage est-il clairement visible en tout temps (nuit, pluie, lever ou coucher du soleil, hiver)?
Profil en travers	Collisions frontales Collisions latérales	L'état général du profil en travers est-il adéquat pour la catégorie de route et les conditions de la circulation (p. ex. voies trop étroites pour la circulation lourde)? La canalisation est-elle adéquate (hauteur des bordures, alignement, aménagement des extrémités)? Y a-t-il des bandes rugueuses si requises? Les transitions sont-elles adéquates aux changements de profil (divisé/contiguë, perte de voie)? - vérifier : empiétements, dénivellation voie/accotement. <u>Voie lente</u> Les caractéristiques des voies lentes sont-elles sécuritaires (longueur des voies, caractéristiques des biseaux)?
<i>État de la surface de roulement</i>	Collisions latérales	Vérifier si des défauts de surface peuvent engendrer des manoeuvres d'évitement dangereuses (nids de poule, ondulations, accumulations d'eau, etc.).
Comportement des conducteurs	Collisions latérales	Vérifier : les manoeuvres de dépassement dangereuses.
Conditions météo	Accidents par mauvais temps (pluie, brouillard, etc.).	La visite du site doit être effectuée lorsque ces conditions sont susceptibles d'être observées.

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

SECTION - PIÉTONS/CYCLISTES

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
Protection insuffisante		Les piétons sont-ils suffisamment protégés par l'aménagement actuel? - sur les voies rapides, les piétons et cyclistes doivent être physiquement séparés du trafic motorisé. La sécurité de toutes les catégories de piétons est-elle prise en compte (landaus, enfants, personnes âgées, handicapés, chaises roulantes)?
Cohérence des aménagements		La continuité des aménagements piétons et cyclistes est-elle assurée tout au long de leurs itinéraires? Les traverses piétons/cyclistes sont-elles aménagées aux bons endroits (compte tenu des trajets de ces usagers)? (voir aussi : Intersection - piétons et cyclistes)
Utilisation illégale des aménagements piétons		Les mesures nécessaires sont-elles prises pour empêcher l'utilisation illégale des aménagements piétons ou cyclistes (véhicules garés, kiosques, autres obstacles)?
Comportement		Les piétons/cyclistes circulent-ils aux endroits aménagés à cette fin?
Visibilité		Les piétons/cyclistes sont-ils bien visibles?
Éclairage routier	Accidents de nuit	Vérifier la fréquence des accidents de nuit. Vérifier la présence et l'état du système d'éclairage (de nuit). Les aménagements pour piétons et cyclistes sont-ils adéquats pour un usage nocturne?

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

GÉNÉRAL - ACCIDENTS DE NUIT*

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
Éclairage routier		Vérifier la présence et l'état du système d'éclairage.
Signalisation marquage		La rétro-réflexivité des panneaux et du marquage est-elle adéquate (de nuit)?
Comportement		Vérifier : vitesses excessives, respect des règles de circulation.

* La visite du site doit s'effectuer de nuit.

Actions possibles

FACTEURS CONTRIBUTIFS

GÉNÉRAL - ACCIDENTS SUR CHAUSSÉE MOUILLÉE

FACTEURS	AUTRES TYPES D'ACCIDENTS	OBSERVATIONS/MESURES/CALCULS
<i>État de la surface de roulement</i>	Collisions arrière	L'adhérence est-elle suffisante? - surface polie, ressuage, contamination.
Vitesses excessives	Collisions arrière Collisions impliquant un seul véhicule	Les vitesses pratiquées sont-elles compatibles avec des conditions de circulation sécuritaires (en fonction des caractéristiques de la route et des conditions de circulation)?

Actions possibles

ACTIONS POSSIBLES

INTERSECTION - COLLISIONS ARRIÈRE

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES	RÉFÉRENCES ^a
Capacité	Aménager une voie de virage et de la canalisation. Interdire les virages. Modifier la séquence des feux (phase exclusive de virage).	<i>Intersections</i>
Protection Manoeuvres de virage	- Aménager des voies de virages, et de la canalisation. - Paver l'accotement. - Interdire les virages.	
<i>État de la surface de roulement</i>	Effectuer un traitement superficiel de surface (rainurage, jet de sable, etc.). Resurfacer. Améliorer le drainage. Corriger les problèmes de fondation de la route. Ajouter des panneaux d'avertissement (mesure temporaire).	<i>État de la surface de roulement Frottement</i>
Comportement des conducteurs	Améliorer la visibilité des panneaux d'arrêts/têtes de feux/intersection. Installer une présignalisation indiquant la présence de l'intersection. Implanter des mesures de modération de la circulation. Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation des conducteurs. Accroître la surveillance policière. Installer des caméras de surveillance.	<i>Vitesses instantanées</i>
<i>Distance de visibilité</i>	Implanter une signalisation (ou d'autres dispositifs) d'avertissement. Éliminer les obstructions à la visibilité. Séparer les véhicules tournant dans des voies exclusives. Interdire les virages.	<i>Distance de visibilité Distance de visibilité</i>
Intersection inattendue	Améliorer la visibilité de l'intersection : - signalisation, canalisation, éclairage, paysagement; - éliminer les informations concurrentielles (stationnement en bordure, kiosques, publicité, etc.). Reconfigurer l'intersection (p. ex. en carrefour giratoire). Fermer/déplacer l'intersection.	<i>Intersections Facteurs humains</i>
Présence d'accès	Améliorer la géométrie des accès. Interdire certaines manoeuvres aux accès (terre-plein central, îlots). Fermer/déplacer les accès.	
Éclairage routier	Installer ou améliorer le système d'éclairage.	
Présence de piétons ou de cyclistes	Améliorer la visibilité des piétons et cyclistes (traverse, interdiction de stationnement, etc.). Séparer les piétons et cyclistes du trafic motorisé (feux, phase exclusive, traverse étagée).	<i>Relevé de circulation Conflits de circulation</i>
Conditions météo	Améliorer l'entretien. Installer des panneaux d'avertissement (p. ex. brouillard).	

^a En bleu : fiche technique, en vert : étude technique

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

INTERSECTION - COLLISIONS FRONTALES AVEC UN VÉHICULE TOURNANT

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES	RÉFÉRENCES ^a
Capacité	Aménager une voie exclusive de virage et de la canalisation. Interdire les virages. Installer des arrêts toutes directions. Installer des feux, ajouter une phase exclusive de virage. Transformer l'intersection en carrefour giratoire.	<i>Intersections</i>
Protection Manoeuvres de virage	Aménager des voies de virage et de la canalisation. Paver l'accotement. Interdire les virages.	<i>Intersections</i>
Comportement des conducteurs	Installer des feux, avec phases exclusives de virage, allonger les intervalles de dégagement (jaune, rouge intégral). Mettre en oeuvre des mesures de modération de la circulation. Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation des conducteurs. Accroître la surveillance policière. Installer des caméras de surveillance.	<i>Vitesses instantanées</i>
<i>Distance de visibilité</i>	Éliminer les obstructions à la visibilité. Interdire les virages. Modifier les priorités de passage (arrêts toutes directions, feux avec phases exclusives de virage).	<i>Distance de visibilité</i> <i>Distance de visibilité</i>
Présence d'accès	Améliorer la visibilité des accès. Améliorer la géométrie des accès (largeur, canalisation, biseau d'insertion/sortie). Interdire certaines manoeuvres aux accès (terre-plein central, îlot). Fermer/déplacer les accès.	

^a En bleu : fiche technique, en vert : étude technique

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

INTERSECTION - COLLISIONS À ANGLE

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES	RÉFÉRENCES ^a
Capacité	<p>Installer des arrêts toutes directions.</p> <p>Installer des feux; changer le minutage des feux.</p> <p>Ajouter de la canalisation (refuge central, îlot d'insertion).</p> <p>Interdire certaines manoeuvres.</p> <p>Transformer l'intersection en carrefour giratoire.</p>	<i>Intersections</i>
<i>Distance de visibilité</i>	<p>Implanter une signalisation ou d'autres dispositifs d'avertissement.</p> <p>Éliminer les obstructions à la visibilité (arbres, stationnement, etc.).</p> <p>Interdire certaines manoeuvres.</p> <p>Modifier les priorités de passage (arrêts toutes directions, feux de circulation).</p> <p>Améliorer la visibilité des lentilles de feux (emplacement, angle, visière, etc.).</p>	<i>Distance de visibilité</i> <i>Distance de visibilité</i>
Comportement des conducteurs	<p>Implanter une présignalisation.</p> <p>Installer des feux de circulation.</p> <p>Améliorer la visibilité des panneaux d'arrêt/lentilles de feux.</p> <p>Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation des conducteurs.</p> <p>Accroître la surveillance policière.</p> <p>Installer des caméras de surveillance.</p>	<i>Vitesses instantanées</i>
Signalisation	Améliorer la signalisation.	
Marquage	Améliorer le marquage (p. ex. lignes d'arrêts).	
Largeur excessive de la chaussée	<p>Rétrécir les voies/la chaussée (terre-plein central ou autre canalisation, marquage).</p> <p>Installer des feux; changer la séquence des feux.</p>	
Rayon de virage	<p>Modifier les rayons de virage (canalisation, marquage).</p> <p>Modifier la largeur des voies.</p>	
Intersection inattendue	<p>Améliorer la visibilité de l'intersection :</p> <ul style="list-style-type: none"> - signalisation, canalisation, éclairage, paysagement; - éliminer les informations concurrentielles (stationnement en bordure, kiosques, publicité, etc.). <p>Reconfigurer l'intersection (p. ex. en carrefour giratoire).</p> <p>Fermer/déplacer l'intersection.</p>	

^a En bleu : fiche technique, en vert : étude technique

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

INTERSECTION - PIÉTONS/CYCLISTES

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES	RÉFÉRENCES ^a
Protection insuffisante	<p>Aménager des passages, améliorer leurs emplacements, leurs aménagements ou leurs signalisations.</p> <p>Installer des feux avec une phase exclusive pour piétons.</p> <p>Aménager des traverses étagées.</p> <p>Prévoir les équipements requis pour toutes les catégories de piétons circulant au site (p. ex. feu avec signal sonore pour les aveugles).</p> <p>Améliorer la signalisation.</p>	
<i>Visibilité</i>	<p>Installer des panneaux/dispositifs d'avertissement.</p> <p>Éliminer les obstructions à la visibilité (p. ex. en interdisant le stationnement à proximité de l'intersection).</p> <p>Relocaliser la traverse.</p> <p>Modifier les priorités de passage.</p> <p>Améliorer la visibilité des lentilles de feux.</p>	<p><i>Distance de visibilité</i></p> <p><i>Distance de visibilité</i></p>
Vitesse et autres comportements	<p>Améliorer la signalisation.</p> <p>Accroître la séparation entre piétons/cyclistes et véhicules motorisés (phase exclusive, îlot de refuge, traverse étagée, barrières pour diriger les piétons vers les traverses).</p> <p>Mettre en oeuvre des mesures de modération de la circulation.</p> <p>Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation des conducteurs.</p> <p>Accroître la surveillance policière.</p> <p>Installer des caméras de surveillance.</p>	<p><i>Vitesses instantanées</i></p>
Éclairage routier	<p>Installer ou améliorer l'éclairage.</p>	

^a En bleu : fiche technique, en vert : étude technique

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

SECTION - ACCIDENTS IMPLIQUANT UN SEUL VÉHICULE

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES	RÉFÉRENCES ^a
<i>Courbe horizontale</i>	Améliorer les mesures d'avertissement (signalisation, marquage, délinéateurs). Améliorer la géométrie (dévers, accotements, adhérence, état des abords, rayon de courbure).	<i>Tracé en plan</i>
<i>Pente descendante</i>	Améliorer les mesures d'avertissement (signalisation). Prévoir des équipements de sécurité (aire de vérification des freins, lit d'arrêt). Améliorer la géométrie (profil en travers, état des abords, profil en long).	<i>Profil en long</i>
Profil en travers	Élargir les voies ou les accotements. Améliorer l'état des accotements. Canaliser. Ajouter des bandes rugueuses sur les accotements.	
<i>État de la surface de roulement</i>	Procéder à des traitements superficiels de surface (rainurage, jet de sable, etc.). Resurfacer. Améliorer le drainage. Corriger les problèmes de fondation de la route. Ajouter des panneaux d'avertissement (mesure temporaire).	<i>État de la surface de roulement</i> <i>Frottement</i>
Abords de route	Améliorer l'état des abords (enlever, déplacer, protéger ou fragiliser les objets fixes; adoucir les pentes de talus trop raides).	
<i>Distance de visibilité</i>	Installer des panneaux/dispositifs d'avertissement. Améliorer les distances de visibilité. Éliminer les possibilités de conflits dans les zones de visibilité restreinte.	<i>Distance de visibilité</i> <i>Distance de visibilité</i>
Présence d'accès	Améliorer la géométrie des accès. Interdire certaines manoeuvres aux l'accès (terre-plein central, îlot). Fermer/déplacer des accès.	
Vitesse	Améliorer la visibilité des panneaux de limite de vitesse. Implanter des mesures de modération de la circulation. Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation des conducteurs. Accroître la surveillance policière. Installer des caméras de surveillance.	<i>Vitesses instantanées</i>
Éclairage routier	Installer ou améliorer le système d'éclairage.	
Animaux	Installer des panneaux d'avertissement. Installer des barrières, des traverses étagées.	
Conditions météo	Améliorer l'entretien. Installer des panneaux d'avertissement (p. ex. brouillard).	

^a En bleu : fiche technique, en vert : étude technique

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

SECTION - COLLISIONS ARRIÈRE

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES	RÉFÉRENCES ^a
Capacité	Ajouter des voies; canaliser. Interdire les virages (terre-plein central). Promouvoir d'autres modes de déplacement (p. ex. transport en commun).	Temps de déplacement
Congestion inattendue	Installer des panneaux/dispositifs d'avertissement actifs. Diminuer la congestion (améliorations géométriques, gestion de la circulation). Accroître la surveillance policière.	
Présence d'accès	Améliorer la géométrie des accès (biseau d'insertion/sortie). Interdire certaines manoeuvres aux accès (terre-plein central, îlots). Fermer/déplacer les accès.	
<i>Distance de visibilité</i>	Installer des panneaux/dispositifs d'avertissement. Améliorer la distance de visibilité. Interdire les manoeuvres de virage dans les zones de visibilité restreinte.	Distance de visibilité Distance de visibilité
Comportement des conducteurs	Améliorer la visibilité des panneaux de limite de vitesse. Implanter des mesures de modération de la circulation. Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation des conducteurs. Accroître la surveillance policière. Installer des caméras de surveillance.	Vitesses instantanées
<i>État de la surface de roulement</i>	Procéder à un traitement superficiel de surface (rainurage, jet de sable, etc.). Resurfacier. Améliorer le drainage. Corriger les problèmes de fondation de la route. Ajouter des panneaux d'avertissement (mesure temporaire).	État de la surface de roulement Frottement
Conditions météo	Améliorer l'entretien. Installer des panneaux d'avertissement (p. ex. brouillard).	

^a En bleu : fiche technique, en vert : étude technique

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

SECTION - COLLISIONS FRONTALES

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES	RÉFÉRENCES ^a
Capacité	Ajouter une voie ou une voie de dépassement. Interdire les manoeuvres de dépassement (marquage, terre-plein central). Améliorer la signalisation (indiquer la distance jusqu'à la prochaine voie de dépassement). Promouvoir d'autres modes de déplacement (transport en commun).	<i>Tracé en plan</i> <i>Profil en long</i>
Marquage	Améliorer le marquage (ligne axiale, ligne de rive).	
Profil en travers	Élargir les voies ou les accotements. Améliorer l'état des accotements. Canaliser. Ajouter des bandes rugueuses.	
<i>État de la surface de roulement</i>	Procéder à un traitement superficiel de surface (rainurage, jet de sable, etc.) Resurfacer. Améliorer le drainage. Corriger les problèmes de fondation de la route. Ajouter des panneaux d'avertissement (mesure temporaire).	<i>État de la surface de roulement</i> <i>Frottement</i>
Comportement des conducteurs	Améliorer la signalisation. Mettre en oeuvre des programmes d'éducation des conducteurs. Accroître la surveillance policière. Installer des caméras de surveillance.	<i>Vitesses instantanées</i>
Conditions météo	Améliorer l'entretien. Installer des panneaux d'avertissement (p. ex. brouillard).	

^a En bleu : fiche technique, en vert : étude technique

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

SECTION - PIÉTONS/CYCLISTES

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES
Protection insuffisante	Ajouter des trottoirs, des voies cyclables. Augmenter l'espace entre la route et les trottoirs/voies cyclables. Installer des barrières entre la circulation motorisée et les piétons/cyclistes. Implanter des mesures de modération de la circulation. <u>Traverses</u> : voir Piétons / Cyclistes - Intersections
Continuité	Assurer la continuité des installations piétons/cyclistes le long de leurs itinéraires. Relocaliser au besoin les traverses pour qu'elles soient adaptées aux trajets des piétons/cyclistes.
Utilisation illégale des aménagements piétons	Ajouter des panneaux d'interdiction de stationnement. Installer des barrières entre piétons/cyclistes et véhicules motorisés. Modifier la réglementation de la circulation. Augmenter la surveillance policière.
Comportement	Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation. Accroître la surveillance policière.
Visibilité des piétons et cyclistes	Éliminer les obstructions à la visibilité (p. ex. stationnement sur rue). Installer des panneaux/dispositifs d'avertissement.
Éclairage routier	Installer ou améliorer le système d'éclairage.

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

GÉNÉRALITÉS - ACCIDENTS DE NUIT

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES
Éclairage routier	Installer ou améliorer le système d'éclairage.
Signalisation Marquage	Améliorer la signalisation/le marquage.
Comportement	Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation des conducteurs. Accroître la surveillance policière.

Facteurs contributifs

ACTIONS POSSIBLES

GÉNÉRALITÉS - ACCIDENTS SUR CHAUSSÉE MOUILLÉE

FACTEURS	ACTIONS POSSIBLES	RÉFÉRENCES ^a
<i>État de la surface de roulement</i>	Effectuer un traitement superficiel de surface (rainurage, jet de sable, etc.). Resurfacer. Améliorer le drainage. Corriger les problèmes de fondation de la route. Ajouter des panneaux d'avertissement (mesure temporaire).	<i>État de la surface de roulement</i> <i>Frottement</i>
Vitesse excessive	Améliorer la visibilité des panneaux de limite de vitesse. Mettre en oeuvre des mesures de modération de la circulation. Mettre en oeuvre des campagnes d'éducation des conducteurs. Accroître la surveillance policière. Installer des caméras de surveillance.	<i>Vitesses instantanées</i>

^a En bleu : fiche technique, en vert : étude technique

Facteurs contributifs

ANNEXE 6-3

Listes de vérification

Diagnostic de sécurité

LISTES DE VÉRIFICATION

Municipalité : _____

Emplacement : _____

Date : _____

Analyste : _____

Motifs de l'analyse : _____

Étape 1 - HISTORIQUE DU SITE

Vérifier la disponibilité des informations suivantes :

ÉLÉMENTS	OK	COMMENTAIRES
Données		
Accidents	<input type="checkbox"/>	
Circulation	<input type="checkbox"/>	
Géométrie	<input type="checkbox"/>	
Conclusions d'études antérieures (sécurité, distance de visibilité, vitesse instantanée, adhérence de surface, etc.)	<input type="checkbox"/>	
Rapports d'entretien	<input type="checkbox"/>	
Photos/vidéos	<input type="checkbox"/>	
Connaissances du personnel	<input type="checkbox"/>	
Demandes/plaintes/discussions (usagers de la route, riverains, élus)	<input type="checkbox"/>	
Autres	<input type="checkbox"/>	

Conclusions :

Étape 2 - CATÉGORISATION

Catégorie du site : _____

Étape 3 - ANALYSE DES ACCIDENTS

TÂCHE	OK	COMMENTAIRES
<p>Sélectionner la période d'accidents et extraire les données</p> <p>De _____ à _____</p>	<input type="checkbox"/>	
<p>Sélectionner la population de référence <i>(Annexe 5.1)</i></p>	<input type="checkbox"/>	
<p>Préparer les sommaires d'accidents <i>(Section 6.3.2)</i></p> <p>Schémas d'accidents <input type="checkbox"/></p> <p>Tableaux sommaires <input type="checkbox"/></p> <p>Tableaux comparatifs <input type="checkbox"/></p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
<p>Calculer les indicateurs de sécurité <i>(Section 5.3.1)</i></p>	<input type="checkbox"/>	
<p>Identifier les patrons d'accidents anormaux <i>(Section 5.3.2)</i></p>	<input type="checkbox"/>	
<p>Rechercher les facteurs accidentogènes <i>(Annexe 6-2)</i> (à compléter au site)</p>	<input type="checkbox"/>	

Conclusions :

IMPORTANT

Apporter au site les tables d'accidents pertinentes

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - PRÉPARATION

Réunir les articles suivants :

ARTICLES	OK
<p>Pour toutes les études :</p> <ul style="list-style-type: none">Appareil-photo (film ou mémoire, piles)Caméra vidéo et support d'enregistrement en quantité suffisanteRuban et roue à mesurerCarnet, crayons, gomme, règleTéléphone cellulairePlans existantsConclusions des études antérieuresListes de vérification pour diagnosticTables d'accidents	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>
<p>Selon les études :</p> <ul style="list-style-type: none">Dispositif de visée et cible (<i>distance de visibilité</i>)Pistolet radar ou laser (<i>vitesse instantanée</i>)Chronomètre (<i>retards, temps de parcours, relevé de circulation</i> phases des feux de circulation)Formulaires de comptage, compteur mécanique ou électronique (<i>relevé de circulation</i>)Niveau (dévers)Magnétophone	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>
<p>Pour la sécurité des analystes :</p> <ul style="list-style-type: none">Casque, veste et bottes de sécuritéFeux clignotant et autre matériel de signalisationAssistance policière (au besoin)	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>

IMPORTANT

La visite du site doit être planifiée à un moment où les problèmes identifiés sont le plus susceptibles d'être observés.

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - FAMILIARISATION

TÂCHES		OK	COMMENTAIRES																																																																									
Parcourir le site dans toutes les directions et noter les problèmes évidents - caractéristiques de la route - exploitation du trafic - comportement des usagers de la route		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																										
Vérifier le niveau de cohérence général de l'environnement routier en fonction des éléments suivants :		<input type="checkbox"/>																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Catégorie de route</th> <th>Section</th> <th colspan="2">Nombre de voies (route)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">princ. sec.</th> <th>Intersection</th> <th colspan="2">princ. sec.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>artère</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td>Type T</td> <td>1 voie</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>collectrice</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td>+</td> <td>2 voies</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>locale</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td>Y</td> <td>voies multiples</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>carrefour giratoire</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Catégorie de route		Section	Nombre de voies (route)		princ. sec.		Intersection	princ. sec.		artère	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Type T	1 voie	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	collectrice	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	+	2 voies	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	locale	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Y	voies multiples	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			X					>4					carrefour giratoire			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Milieu</th> <th>Type de contrôle</th> <th colspan="2">Type de chaussée</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th></th> <th colspan="2">princ. sec.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>rural</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>aucun</td> <td>non-divisé</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>urbain</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>cédez</td> <td>divisé</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>arrêts (secondaire)</td> <td>autoroute</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>arrêts multiples</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>feux</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Milieu		Type de contrôle	Type de chaussée					princ. sec.		rural	<input type="checkbox"/>	aucun	non-divisé	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	urbain	<input type="checkbox"/>	cédez	divisé	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			arrêts (secondaire)	autoroute	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			arrêts multiples					feux		
Catégorie de route		Section	Nombre de voies (route)																																																																									
princ. sec.		Intersection	princ. sec.																																																																									
artère	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Type T	1 voie	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																								
collectrice	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	+	2 voies	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																								
locale	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Y	voies multiples	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																								
		X																																																																										
		>4																																																																										
		carrefour giratoire																																																																										
Milieu		Type de contrôle	Type de chaussée																																																																									
			princ. sec.																																																																									
rural	<input type="checkbox"/>	aucun	non-divisé	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																								
urbain	<input type="checkbox"/>	cédez	divisé	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																								
		arrêts (secondaire)	autoroute	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																								
		arrêts multiples																																																																										
		feux																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Limite de vitesse</th> <th colspan="2">Circulation</th> <th colspan="2">Occupation des sols adjacents</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Débit</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Principale</td> <td>_____ km / h</td> <td>motorisée</td> <td>_____</td> <td>résidentiel</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Secondaire</td> <td>_____ km / h</td> <td>passagers</td> <td>_____</td> <td>commercial</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">La limite de vitesse affichée est-elle cohérente avec la fonction de la route, ses caractéristiques géométriques, les caractéristiques de la circulation et l'utilisation du territoire adjacent?</td> <td>2 roues</td> <td>_____</td> <td>industriel</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>bus</td> <td>_____</td> <td>agricole</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>véhicules lourds</td> <td>_____</td> <td>forestier</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>autres</td> <td>_____</td> <td>autres</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>non motorisée</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>piétons</td> <td>_____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>cyclistes</td> <td>_____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>autres</td> <td>_____</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Limite de vitesse		Circulation		Occupation des sols adjacents				Débit				Principale	_____ km / h	motorisée	_____	résidentiel	<input type="checkbox"/>	Secondaire	_____ km / h	passagers	_____	commercial	<input type="checkbox"/>	La limite de vitesse affichée est-elle cohérente avec la fonction de la route, ses caractéristiques géométriques, les caractéristiques de la circulation et l'utilisation du territoire adjacent?		2 roues	_____	industriel	<input type="checkbox"/>			bus	_____	agricole	<input type="checkbox"/>			véhicules lourds	_____	forestier	<input type="checkbox"/>			autres	_____	autres	<input type="checkbox"/>			non motorisée						piétons	_____					cyclistes	_____					autres	_____						
Limite de vitesse		Circulation		Occupation des sols adjacents																																																																								
		Débit																																																																										
Principale	_____ km / h	motorisée	_____	résidentiel	<input type="checkbox"/>																																																																							
Secondaire	_____ km / h	passagers	_____	commercial	<input type="checkbox"/>																																																																							
La limite de vitesse affichée est-elle cohérente avec la fonction de la route, ses caractéristiques géométriques, les caractéristiques de la circulation et l'utilisation du territoire adjacent?		2 roues	_____	industriel	<input type="checkbox"/>																																																																							
		bus	_____	agricole	<input type="checkbox"/>																																																																							
		véhicules lourds	_____	forestier	<input type="checkbox"/>																																																																							
		autres	_____	autres	<input type="checkbox"/>																																																																							
		non motorisée																																																																										
		piétons	_____																																																																									
		cyclistes	_____																																																																									
		autres	_____																																																																									
Vérifier les problèmes évidents liés aux facteurs humains : (voir attentes des conducteurs et tâche de conduite)																																																																												
Caractéristiques pouvant surprendre le conducteur (attentes) (changements inhabituels ou inattendus dans le tracé, le profil en travers, la surface de roulement, la signalisation, le marquage, la circulation, l'occupation des sols) Vérifier le respect des : - attentes à court terme (acquises durant le parcours); - attentes à long terme (acquises durant la vie du conducteur); - attentes liées aux événements (événements rares).		<input type="checkbox"/>																																																																										
Possibilités de surcharge - trop d'informations; - information trop complexe.		<input type="checkbox"/>																																																																										
Éléments pouvant favoriser la somnolence ou l'inattention		<input type="checkbox"/>																																																																										

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - HISTORIQUE DU SITE

TÂCHE	OK	
Vérifier si les problèmes identifiés lors d'études antérieures ont été corrigés avec succès.	<input type="checkbox"/>	

Conclusions :

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - PROBLÈMES À DES SITES SEMBLABLES

TÂCHE	OK	
Vérifier si des problèmes souvent observés à des sites semblables le sont aussi au site analysé (<i>selon les résultats d'études antérieures effectuées à des sites semblables, les guides disponibles, etc.</i>).	<input type="checkbox"/>	

Conclusions :

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - FACTEURS ACCIDENTOGÈNES

TÂCHE	OK	
Compléter l'analyse des accidents amorcée à l'étape 3 en vérifiant, pour chacun des patrons d'accidents anormaux, les facteurs contributifs potentiels et les actions possibles (à l'aide des tables de l' <i>annexe 6-2</i>)	<input type="checkbox"/>	

Conclusions :

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

SECTIONS DE ROUTE		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Général	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans observer de condition de circulation hasardeuse?</p> <ul style="list-style-type: none"> - pelotons de véhicules; - temps de parcours excessifs (routes de mobilité); - talonnage; - manoeuvres de dépassement dangereuses; - différentiels de vitesses importants; - différentiels de masses importants. <p>Effectuer au besoin un relevé de circulation, une étude de temps de parcours, de capacité);</p>			
Vitesse	<p>Les vitesses pratiquées sont-elles adéquates en fonction des conditions routières?</p> <p>(effectuer au besoin une étude des vitesse instantanées)</p>			
Conflit de circulation	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans observer de problèmes de conflits de circulation (accès, stationnements, etc.)?</p>			

Conclusions :

Voir aussi :

Piétons/cyclistes

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

TRACÉ EN PLAN		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Vitesse	<p>Les vitesses observées dans la courbe sont-elles sécuritaires (comparer à la vitesse affichée et à la vitesse de conception)?</p> <p>La réduction de vitesse requise à l'approche de la courbe est-elle compatible avec des conditions de circulation sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - calculer les différentiels de vitesse entre la courbe et ses segments adjacents; - dérapages (ou marques de dérapages). 			
Freinage	<p>Les manœuvres de freinages s'effectuent-elles de façon sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - freinages tardifs, traces de freinage. 			
Empiètement	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir d'empiètement dangereux?</p>			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Rayon de courbe	<p>Le rayon de la courbe est-il adéquat (selon la catégorie de route et les conditions de circulation)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer aux normes en vigueur; - éviter les courbes raides sur les artères. <p>Le risque de renversement est-il faible?</p> <ul style="list-style-type: none"> - calculer la vitesse de renversement et la vitesse de dérapage. 			
Largeur de voie	<p>La largeur des voies est elle compatible avec des conditions de circulation sécuritaires? [largeur de la chaussée]</p>			
Accotement	<p>L'accotement permet-il aux conducteurs qui y empiètent de réintégrer leur voie en sécurité?</p> <ul style="list-style-type: none"> - affaissement entre la voie et l'accotement, largeur de l'accotement, matériau de surface, stabilité, érosion, obstacles (arbres, etc.). 			
État de la surface de roulement	<p>L'adhérence de surface est-elle adéquate?</p> <ul style="list-style-type: none"> - polissage, ressuage, contamination; - tests de frottement (au besoin). <p>L'uni de la surface est-il adéquat?</p> <ul style="list-style-type: none"> - nids de poule, ondulations, orniérage, etc. <p>La chaussée est-elle exempte d'eau (ou de traces d'eau)?</p> <p>La chaussée est-elle exempte de matériaux meubles (sable, pierres, feuilles, etc.).</p>			
Dévers	<p>Le dévers est-il adéquat?</p> <ul style="list-style-type: none"> - hauteur, transition entre la tangente et la courbe; - état du drainage dans la zone de transition. 			
Condition des abords de route	<p>Dans la zone de dégagement requise, les abords de la route sont-ils exempts d'éléments susceptibles d'accroître la gravité des accidents lors de pertes de contrôle?</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes de talus abruptes; - obstacles rigides (arbres, poteaux, rocs, etc.); - extrémités hasardeuses de ponts, barrières, etc.). 			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

TRACÉ EN PLAN (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Condition des abords de route (suite)	<p>Les glissières de sécurité sont-elles en bon état?</p> <p>Les équipements routiers situés sur les abords sont-ils exempts de dommages pouvant avoir été causés par des véhicules en détresse?</p> <p>Les abords sont-ils exempts d'éléments susceptibles de distraire de façon excessive les conducteurs (panneaux publicitaires, kiosques, etc.)?</p>			
Distance de visibilité	<p>Le tracé de la route est-il évident?</p> <p>- vérifier si certains éléments peuvent créer de la confusion au niveau du tracé (route secondaire dans la continuité de l'alignement de la route principale, alignement de poteaux ou d'arbres formant un angle avec la route, courbe horizontale après le sommet d'une courbe verticale saillante, etc.).</p> <p>Les distances de visibilité disponibles permettent-elles d'effectuer des manœuvres d'arrêts en sécurité (en tout point de la courbe)?</p> <p>[distance de freinage (courbe)]</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances d'arrêts requises. <p>Les abords de la route sont-ils exempts d'éléments susceptibles de nuire à la visibilité sur le côté intérieur de la courbe?</p> <ul style="list-style-type: none"> - attention aux obstructions visuelles saisonnières ou temporaires qui ne sont pas nécessairement présentes au moment de la visite du site (véhicules stationnés, végétation, etc.); - vérifier si des sources de conflits de circulation ou des éléments dangereux sont présents aux endroits où la visibilité est restreinte (intersection, traverse, entrée privée, ouvrage d'art étroit, etc.). 			
Dépassement	<p>Les dépassements sont-ils clairement interdits si dangereux (marquage, terre-plein central)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances de dépassement requises. <p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de manoeuvre de dépassement hasardeuse?</p> <p>Les possibilités de dépassement sont-elles suffisantes sur la route, compte tenu de la catégorie de route et des conditions de circulation?</p>			
Signalisation et autres dispositifs d'avertissement	<p>La signalisation et les autres dispositifs d'avertissement sont-ils conformes aux normes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - équipement manquant ou superflu, taille, emplacement (hauteur et décalage latéral), simplicité du message. <p>Le niveau d'avertissement convient-il à la situation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - panneaux de vitesse recommandée au besoin. <p>La signalisation et les autres mesures d'avertissement sont-elles suffisamment visibles?</p> <p>Sont-elles en bon état?</p> <ul style="list-style-type: none"> - usées, brisées, sales, non rétro réfléchissantes. <p>Les supports de panneaux sont-ils protégés ou fragilisés au besoin?</p>			
Combinaison d'éléments	<p>La courbe est-elle exempte d'éléments additionnels susceptibles d'accroître le risque ou la gravité des accidents?</p> <ul style="list-style-type: none"> - combinaison de courbe horizontale et verticale, intersection, traverse, pont étroit, etc. 			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

PROFIL EN LONG - DESCENTE		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Vitesse	Les vitesses des camions en descente sont-elles sécuritaires? Les différences de vitesse entre les véhicules passagers et les véhicules lourds sont-elles compatibles avec des conditions de circulation sécuritaires?			
Freinage	Si des manœuvres de freinages sont requises, s'effectuent-elles de façon sécuritaire (à une intersection, un accès)? - freinages tardifs, marques de freinage, conflits de circulation.			
Peloton	Est-il peu probable que des pelotons se forment? - selon les caractéristiques de la pente et les conditions de circulation.			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Pourcentages et longueurs de pentes	Les pourcentages et longueurs de pente sont-elles compatibles avec des conditions de circulation sécuritaires? - comparer avec les valeurs recommandées dans les normes; - calculer la température des freins des véhicules lourds. [analyse des pentes  Les conducteurs sont-ils préparés adéquatement aux caractéristiques de la pente? - attention aux premières pentes raides et aux pentes composées.			
Signalisation et dispositif d'avertissement	La signalisation et les autres dispositifs d'avertissement sont-ils conformes aux normes? - dispositifs manquants ou superflus, taille, emplacement, (hauteur et décalage latéral), simplicité du message. Le niveau d'avertissement convient-il à la situation? - pré-signalisation au besoin. La signalisation et les autres dispositifs d'avertissement sont-ils suffisamment visibles? Sont-ils en bon état? - usés, brisés, sales, non rétro réfléchissants.			
Équipement de sécurité (aire de vérification des freins et lits d'arrêts)	Les équipements de sécurité requis sont-ils disponibles? - aire de vérification des freins, lit d'arrêt, autres. Sont-ils adéquats? - emplacement, tracé, géométrie, matériel, etc. Sont-ils bien entretenus?			
État de la surface de roulement	L'adhérence de surface est-elle adéquate? - polissage, ressuage, contamination; - tests de frottement (au besoin). L'uni de la chaussée est-il adéquat? - nids de poule, ondulations, orniérage, etc. La surface est-elle exempte de matériaux meubles (sable, pierres, feuilles, etc.)?			
Drainage	Les capacités de drainage sont-elles adaptées aux conditions de pluie? - vérifier les accumulations d'eau, l'érosion de la route. Les ouvrages de drainage sont-ils sécuritaires pour tous les types d'usagers de la route (deux-roues y compris)? - éviter les ouvrages de drainage profonds et ouverts près des voies de circulation.			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

PROFIL EN LONG - DESCENTE (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Dépassement	<p>Les dépassements sont-ils clairement interdits si dangereux (marquage, terre-plein central)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances de dépassement requises <p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de manoeuvre de dépassement hasardeuse?</p> <p>Les possibilités de dépassement sont-elles suffisantes sur la route, compte tenu de la catégorie de route et des conditions de circulation?</p>			
Combinaison d'éléments	<p>La pente est-elle exempte d'éléments additionnels susceptibles d'accroître le risque ou la gravité des accidents, surtout s'il sont situés en bas de pente (intersection, pont étroit, etc.)?</p>			

PROFIL EN LONG - MONTÉE		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Vitesse	<p>Les différences de vitesse entre véhicules passagers et véhicules lourds sont-elles compatibles avec des conditions de circulation sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - calculer le profil de vitesse des poids lourds  			
Pelotons	<p>Est-il peu probable que des pelotons se forment?</p> <ul style="list-style-type: none"> - selon les caractéristiques de la pente et les conditions de circulation. 			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Dépassement	<p><u>Sans voie pour véhicules lents</u></p> <p>Les dépassements sont-ils clairement interdits si dangereux (marquage, terre-plein central)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances de dépassement requises. - les observations au site ont-elles été complétées sans voir de manoeuvre de dépassement dangereuse? <p>Les possibilités de dépassement sont-elles suffisantes sur la route, compte tenu de la catégorie de route et des conditions de circulation?</p> <p><u>Voie pour véhicules lents</u></p> <p>Une voie pour véhicules lents est-elle disponible si requise?</p> <ul style="list-style-type: none"> - selon normes de conception et le profil de vitesse des poids lourds  <p>Les caractéristiques de la voie pour véhicules lents sont-elles sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - tracé, longueur, biseau (longueur, emplacement, visibilité). 			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

PROFIL EN LONG - COURBES		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Manoeuvre dangereuse	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de manoeuvre dangereuse associée à la présence d'une courbe verticale saillante?</p> <ul style="list-style-type: none"> - dépassements dangereux, freinages tardifs, manoeuvres d'évitement, marques de freinage, etc. 			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Distance de visibilité	<p>Les distances de visibilité permettent-elles d'effectuer des manoeuvres d'arrêts en sécurité en tout point de la courbe verticale?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances d'arrêts requises; [distance de freinage (courbe)  - vérifier si des sources de conflits de circulation ou des éléments dangereux sont présents aux endroits où la visibilité est restreinte (intersection, traverse, entrée privée, fin de voie pour véhicules lents, etc.). 			
Dépassement	<p>Les dépassements sont-ils clairement interdits si dangereux (marquage, terre-plein central)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances de dépassements requises; - les observations au site ont-elles été complétées sans voir de manoeuvre de dépassement hasardeuse? <p>Les possibilités de dépassement sont-elles suffisantes sur la route, compte tenu de la catégorie de route et des conditions de circulation?</p> <p><u>Voie pour véhicules lents</u> La fin de la voie est-elle sécuritaire?</p> <ul style="list-style-type: none"> - longueur et emplacement du biseau (distance de visibilité). 			
Drainage (courbe rentrante)	<p>Les capacités de drainage sont-elles adaptées aux conditions de pluie?</p> <ul style="list-style-type: none"> - vérifier les accumulations d'eau, l'érosion de la route. <p>Les ouvrages de drainage sont-ils sécuritaires pour tous les usagers de la route (deux-roues y compris)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter les ouvrages de drainage profonds et ouverts près des voies de circulation. 			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

DISTANCE DE VISIBILITÉ		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Vitesse	Les vitesses pratiquées sont-elles sécuritaires en fonction des distances de visibilité disponibles?			
Manoeuvre dangereuse	Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de manoeuvre dangereuse pouvant être liée à des problèmes de visibilité? - freinages tardifs, marques de freinage, manoeuvres d'évitement, etc.			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Distance de visibilité d'arrêt	Les distances de visibilité permettent-elles d'effectuer des manoeuvres d'arrêts en sécurité (en tout point du site)? - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances d'arrêts requises; [distance de freinage (courbe)] - attention aux obstructions visuelles saisonnières ou temporaires qui ne sont pas nécessairement présentes au moment de la visite du site (véhicules stationnés, végétation, etc.); - vérifier si des sources de conflits de circulation ou des éléments dangereux sont présents aux endroits où la visibilité est restreinte (intersection, traverse, entrée privée, ouvrage d'art étroit, etc.)?			
Distance de visibilité de dépassement	Les dépassements sont-ils clairement interdits si dangereux (marquage, terre-plein central)? - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances de dépassement requises. Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de manoeuvres de dépassement hasardeuses. Les possibilités de dépassement sont-elles suffisantes sur la route, compte tenu de sa catégorie et des conditions de circulation?			
Distance de visibilité aux intersections	La présence de l'intersection est-elle évidente pour tous les usagers de la route? Les distances de visibilité disponibles permettent-elles d'effectuer chaque manoeuvre autorisée en sécurité? - comparer les distances de visibilité disponibles aux distances de visibilité de manoeuvres requises; - vérifier la présence d'obstructions visuelles dans chacun des quadrants de l'intersection (courbe horizontale, pente, immeuble, kiosque, pont, végétation, poteau, etc.); - attention aux obstructions visuelles saisonnières ou temporaires qui ne sont pas nécessairement présentes lors de la visite du site (véhicules stationnés, bus arrêté, végétation saisonnière, etc.).			
Distance de visibilité d'anticipation	Le site est-il exempt de situations inhabituelles, inattendues ou complexes qui exigent une plus grande distance de visibilité? - premier arrêt obligatoire sur une route principale, configuration routière ou règle de circulation inhabituelle, etc.			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

PROFIL EN TRAVERS		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Empiètement	Les observations au site ont-elles été complétées sans voir d'empiètements dangereux?			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Généralités	<p>L'aspect général du profil en travers est-il adéquat compte tenu de la catégorie de route et des conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter les voies étroites sur les routes desservant une circulation lourde ou les routes larges dans les secteurs résidentiels. <p>Les besoins des usagers de la route plus vulnérables ont-ils été pris en compte de façon adéquate?</p> <ul style="list-style-type: none"> - voir piétons/cyclistes <p>Les caractéristiques du profil en travers sont-elles uniformes le long de la route?</p> <ul style="list-style-type: none"> - sinon, les conducteurs sont-ils adéquatement avertis de la transition? <p>(signalisation d'avertissement, caractéristiques du biseau, marquage).</p>			
Nombre de voies	<p>Le nombre de voies est-il adéquat pour la catégorie de route et les conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - trop de voies (vitesses excessives) ou trop peu de voies (problème de capacité) <p>Chaque voie est-elle clairement délimitée par marquage et/ou canalisation?</p>			
Largeur des voies	<p>Les largeurs de voie sont-elles adéquates pour la catégorie de route et les conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - voies trop étroites ou trop larges. <p>Le site est-il exempt de variations de largeurs de voies pouvant accroître le risque?</p> <ul style="list-style-type: none"> - p. ex. rétrécissement soudain à un pont. 			
Voie auxiliaire	<p>Les caractéristiques des voies auxiliaires sont-elles adéquates?</p> <ul style="list-style-type: none"> - tracé, longueur, gestion de la circulation; - biseau (longueur, emplacement, distance de visibilité). 			
Accotement	<p>L'accotement permet-il aux conducteurs de véhicules qui y empiètent de récupérer leur voie en sécurité?</p> <ul style="list-style-type: none"> - affaissement entre la voie et l'accotement, largeur de l'accotement, matériau de surface, stabilité, érosion, obstacles (arbres, etc.). 			
Canalisation (terre-plein central, îlot, etc.)	<p>La canalisation en place contribue-t-elle à améliorer la sécurité des usagers de la route?</p> <ul style="list-style-type: none"> - délimitation claire de chaque trajectoire; - réduction des conflits de circulation (séparation des manœuvres opposées, traverses, virages). <p>Les caractéristiques de la canalisation sont-elles sécuritaires pour tous les types d'usagers (motorisés et non-motorisés)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - alignement de la canalisation, hauteur des bordures, traitements des extrémités, etc. 			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

PROFIL EN TRAVERS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
Drainage	<p>Le bombement et la pente transversale de la route permettent-ils un ruissellement adéquat des eaux de surface?</p> <p>La capacité de drainage est-elle adaptée aux conditions de pluie?</p> <ul style="list-style-type: none"> - vérifier les accumulations d'eau, l'érosion de la route. <p>Les ouvrages de drainage sont-ils sécuritaires pour tous les usagers de la route, deux-roues y compris?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter les ouvrages de drainage profonds et ouverts près des voies de circulation. 			
Stationnement	<p>Les espaces prévus pour le stationnement sont-ils compatibles avec des conditions de circulation sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter les manœuvres de stationnement sur les routes à circulation rapide; - vérifier que le stationnement ne nuise pas à la visibilité des piétons et des véhicules qui traversent la route. 			
ÉTAT DE LA SURFACE DE ROULEMENT		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Manoeuvre dangereuse	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de manœuvre d'évitement dangereuse pouvant être attribuable à des défauts de la surface de roulement?</p> <ul style="list-style-type: none"> - dérapages (ou marques de dérapage), conflits de circulation, positions latérales hasardeuses. 			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Adhérence de surface	<p>L'adhérence de surface est-elle adéquate, surtout aux endroits où le besoin d'adhérence est élevé comme dans les courbes horizontales, les pentes descendantes et aux intersections?</p> <ul style="list-style-type: none"> - polissage, ressuage, contamination; - tests de frottement (au besoin). 			
Uni	<p>L'uni de la chaussée est-il adéquat?</p> <ul style="list-style-type: none"> - nids de poule, ondulations, orniérage, etc. 			
MARQUAGE DE LA CHAUSSÉE		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Trajectoire	<p>Les trajectoires empruntées par les usagers sont-elles sécuritaires?</p>			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Généralités	<p>Le marquage est-il conforme aux normes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - ligne axiale, ligne de rive, ligne de démarcation des voies, marquage sonore/bandes rugueuses; - traverses (piétons, cyclistes, animaux, chemin de fer, autres); - largeur, longueur, couleur, emplacement, tracé. 			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

MARQUAGE DE LA CHAUSSÉE (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
Généralités (suite)	<p>L'emplacement de chaque voie et les trajectoires à suivre sont-ils clairement délimités par le marquage et la canalisation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter les routes larges avec marquage inadéquat qui créent de la confusion quant au nombre de voies de circulation et à leur emplacement. <p>Le marquage est-il bien visible en tout temps?</p> <ul style="list-style-type: none"> - nuit, lever et coucher du soleil, pluie, hiver, etc. <p>A-t-on évité les possibilités de confusion?</p> <ul style="list-style-type: none"> - entre le marquage permanent et temporaire; - entre le nouveau marquage et l'ancien. 			
ABORDS DE LA ROUTE		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Généralités	<p>Dans la zone de dégagement requise, les abords de la route sont-ils exempts d'éléments susceptibles d'accroître la gravité des accidents?</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes de talus abruptes; - obstacles rigides (arbres, poteaux, rocs, etc.); - extrémités hasardeuses d'équipements routiers (ponts, glissières de sécurité, ouvrages de drainage, etc.). <p>Les glissières de sécurité sont-elles en bon état?</p> <p>Les équipements routiers situés sur les abords sont-ils exempts de dommages pouvant avoir été causés par des véhicules en détresse?</p> <p>Les abords sont-ils exempts d'éléments susceptibles de distraire de façon excessive les conducteurs (panneaux publicitaires, kiosques, etc.)?</p>			
ACCÈS		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Conflit de circulation	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de conflit de circulation lié à la présence d'accès sur les abords de la route?</p>			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Densité et type	<p>La densité et le type d'accès sont-ils compatibles avec un mode d'exploitation sécuritaire (selon la catégorie de la route et les conditions de circulation)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - limiter le nombre d'accès sur les routes de mobilité. 			
Emplacement et géométrie	<p>L'emplacement et la géométrie des accès sont-ils sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter la présence d'accès aux endroits où la tâche de conduite est déjà complexe (à proximité des intersections, des courbes, etc); - éviter les accès trop étroits ou trop larges; - canaliser au besoin les accès pour réduire les conflits de circulation (flot séparateur, terre-plein central, voie d'accélération ou de décélération, etc.). 			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

ACCÈS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
<i>Distance de visibilité</i>	<p>Les distances de visibilité sont-elles adéquates à chaque accès?</p> <ul style="list-style-type: none"> - les usagers de la route qui entrent ou sortent d'un accès doivent être clairement visibles des usagers en transit (et inversement); - attention aux obstructions visuelles saisonnières ou temporaires (p. ex. stationnement sur rue). <p>Vérifier la présence d'informations concurrentes.</p>			
SIGNALISATION		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Respect	<p>Les conducteurs respectent-ils les règles de signalisation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - arrêt, vitesse, feu rouge, etc. 			
Erreurs de conduite	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir d'erreurs de conduite ou de comportements à risque pouvant être liés à une signalisation inadéquate?</p> <ul style="list-style-type: none"> - freinage tardif, hésitation, etc. 			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Généralités	<p>La signalisation routière est-elle conforme aux normes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - panneau manquant ou superflu, matériau, dimension, emplacement (hauteur et décalage latéral), simplicité du message. <p>Les messages d'avertissement et de guidage sont-ils adaptés au contexte routier?</p> <p>Le site est-il exempt de surcharge localisée d'informations (signalisation et autres)?</p> <p>Les messages et règles de conduite transmis par la signalisation sont-ils cohérents avec ceux présentés ailleurs (sur la route, sur le réseau)?</p> <p>Les supports des panneaux de signalisation sont-ils protégés ou fragilisés au besoin?</p>			
Visibilité Lisibilité	<p>Les panneaux sont-ils suffisamment visibles et évidents?</p> <ul style="list-style-type: none"> - attention aux obstructions temporaires ou saisonnières (véhicules stationnés, végétation, etc.); - vérifier la prédominance des panneaux de signalisation sur l'information concurrente (contraste, distractions adjacentes); - la signalisation est-elle visible en tout temps? - nuit, soleil, hiver (neige). 			
Entretien	<p>Les panneaux de signalisation sont-ils en bon état?</p> <ul style="list-style-type: none"> - usés, brisés, sales, non rétro réfléchissants. 			
ÉCLAIRAGE		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Généralités	<p>Le système d'éclairage routier est-il conforme aux normes?</p> <p>Le site est-il exempt de conditions d'éclairage dangereuses (en tout temps)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - lever ou coucher de soleil, hiver, brouillard; - éblouissement par les phares. <p>Sinon, des mesures appropriées ont-elles été prises pour réduire le risque?</p>			
Entretien	L'éclairage routier est-il en bon état de fonctionnement?			
Protection	Les poteaux du système d'éclairage sont-ils adéquatement protégés ou fragilisés au besoin?			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

PIÉTONS/CYCLISTES		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
<i>Conflit de circulation</i>	Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de conflit de circulation ou de manœuvre dangereuse impliquant des piétons ou des cyclistes?			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Généralités	Le niveau de protection accordé aux piétons et cyclistes est-il approprié selon la catégorie de route et les conditions de circulation? - lorsque les vitesses, les débits ou les proportions de poids lourds sont élevés, il faut : - séparer les piétons et les véhicules motorisés dans des couloirs de circulation distincts? - séparer les manœuvres de traverses des piétons/cyclistes dans le temps (phases exclusives) ou dans l'espace (passages étagés).			
Voie piétonne ou cyclable	Les installations pour piétons/cyclistes qui sont requises (selon les normes) sont-elles aménagées? La continuité des installations pour piétons/cyclistes est-elle assurée le long de leurs itinéraires? La largeur des voies piétonnes/cyclables convient-elle aux volumes de circulation? Des mesures adéquates ont-elles été prises pour éviter l'usage illégal des installations piétonnes/cyclables? - véhicules stationnés, kiosques, autres obstacles. Les installations piétonnes/cyclables sont-elles adéquates pour un usage nocturne? Les installations de drainage sont-elles adéquates? - vérifier les accumulations d'eau, l'érosion; - ouvrages de drainage dangereux pour les cyclistes. <u>Traverses</u> Des traverses pour piétons ou cyclistes - sont-elles aménagées au besoin? - sont-elles situées aux endroits appropriés? Les traverses pour piétons/cyclistes sont-elles conformes aux normes? - type, largeur, signalisation. Des barrières de sécurité ont-elles été installées au besoin pour diriger les piétons vers les traverses? Les distances de visibilité sont-elles adéquates? - les véhicules doivent pouvoir voir sans difficulté les piétons/cyclistes et vice-versa; - attention aux obstructions de visibilité temporaires ou saisonnières.			
Signalisation	Est-ce qu'une signalisation adéquate avertit les conducteurs de la présence de piétons/cyclistes à proximité des écoles et des terrains de jeux?			
Usager spécifique	Les besoins de toutes les catégories de piétons ont-ils été pris en compte correctement? - landaus, enfants, personnes âgées ou handicapées, fauteuils roulants, (p. ex. bordures surbaissées, pentes douces, mains courantes etc.).			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - SECTIONS

VÉHICULES LOURDS		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
<i>Conflit de circulation</i>	Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de conflit de circulation ou de manœuvre dangereuse impliquant des véhicules lourds?			
Différentiel de vitesse	Les différences de vitesse entre les véhicules passagers et les véhicules lourds sont-elles compatibles avec des conditions d'exploitation sécuritaires (pentes descendante et ascendante)? <i>[analyse des pentes 📊]</i>			
Peloton	Est-il peu probable que des pelotons de véhicules se forment derrière les véhicules lourds (pentes descendante et ascendante)?			
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Généralités	La présence de camions est-elle cohérente, selon la catégorie de route et les conditions de circulation?			
Largeur de voie	La largeur des voies est-elle adéquate pour la dimension des camions? <i>[largeur de la chaussée 📊]</i>			
<i>Tracé en plan</i>	Les caractéristiques du tracé en plan sont-elles adéquates pour prévenir le risque de dérapage et de renversement des camions? <i>[vitesse de dérapage 📊]</i> <i>[vitesse de renversement 📊]</i>			
<i>Profil en long</i>	Les caractéristiques du profil en long sont-elles adéquates pour prévenir le risque de surchauffe des freins ou les différentiels de vitesses trop importants (pentes descendante et ascendante)? <i>[analyse des pentes 📊]</i> Sinon, les installations requises sont-elles présentes? - aire de vérification des freins, lit d'arrêt; - voie pour véhicules lents.			
Hauteur libre	Les hauteurs libres ou la signalisation des limitations de hauteur sont-elles adéquates?			
<i>Distance de visibilité</i>	Les distances de visibilité disponibles permettent-elles aux camions de s'arrêter et de manœuvrer en sécurité? - attention aux situations où la position surélevée des conducteurs de camions ne peut compenser pour leurs plus longues distances d'arrêts et de manœuvres (par ex. structures verticales, viaducs ou autres).			
ANIMAUX		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Équipement routier	Des clôtures et traverses sont-elles aménagées au besoin?			
Signalisation	La signalisation est-elle adéquate (traverse de bétail, présence d'animaux sauvages, etc.)?			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Général	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de condition de circulation hasardeuse?</p> <ul style="list-style-type: none"> - délais excessifs (usagers motorisés et non motorisés); - files de véhicules; - créneaux de manœuvres insuffisants; - non respect des règles de circulation (arrêt, feu rouge, etc.); <p>Des traverses pour piétons ou cyclistes</p> <ul style="list-style-type: none"> - sont-elles aménagées au besoin? - sont-elles situées aux endroits appropriés? <p>Effectuer au besoin un relevé de circulation, une étude de délais, de capacité)</p>			
Mode de contrôle de la circulation	<p>Le mode de contrôle de la circulation est-il adapté aux conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - aucun, cédez, arrêt sur approches secondaires, arrêts toutes directions, feu de circulation; - les phases du feu de circulation sont-elles adéquates (nombre, longueur)? 			
Patron de circulation	<p>L'intersection est-elle exempte de distribution de circulation inhabituelle pouvant surprendre les conducteurs (p. ex. changement de direction de la route principale).</p>			
Trajectoire	<p>Les trajectoires souhaitables sont-elles faciles à identifier?</p>			
Vitesse	<p>Les vitesses pratiquées sont-elles adéquates en fonction des conditions routières? (effectuer au besoin une étude de vitesses instantanées)</p>			
Conflit de circulation	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans observer de problèmes de conflits de circulation (entre usagers motorisés, entre usagers motorisés et non motorisés)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - effectuer au besoin une étude de conflits de circulation. 			

Voir aussi :

Piétons/cyclistes
Véhicules lourds

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Type d'intersection	<p>La présence de ce type d'intersection (en T, en croix, carrefour giratoire) est-elle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cohérente avec l'environnement routier? - permise par les normes en vigueur (selon la catégorie de route). <p>La densité d'intersections est-elle adaptée à la catégorie de route?</p>			
Aménagement	<p>Les caractéristiques de l'intersection sont-elles adaptées à la catégorie de route et aux conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - rayons de giration adéquats (empiètements des longs véhicules); - surface d'intersection excessive; - configuration d'intersection inhabituelle ou complexe (plus de 4 branches, biais, décalage). 			
Distance de visibilité	<p>La présence de l'intersection est-elle évidente pour tous les usagers de la route?</p> <p>Les distances de visibilité disponibles permettent-elles d'effectuer des manœuvres d'arrêts en sécurité (sur l'ensemble de l'intersection)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances d'arrêts requises; [distance de freinage (courbe)] - vérifier les distances de visibilité disponibles aux fins de files potentielles de véhicules. <p>Les distances de visibilité disponibles permettent-elle d'effectuer en sécurité toutes les manœuvres autorisées?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances de manœuvres requises; - vérifier la présence d'obstructions visuelles dans chacun des quadrants de l'intersection (courbe horizontale, etc.); - attention aux obstructions visuelles saisonnières ou temporaires qui ne sont pas nécessairement présentes lors de la visite du site (véhicules stationnés, végétation, etc.). 			
Tracé en plan Profil en long	<p>L'environnement immédiat de l'intersection est-il exempt de courbe horizontale ou de pente susceptible de réduire la visibilité et d'accroître les difficultés de manœuvres?</p>			
Voie	<p>Le nombre de voies convient-il à la catégorie de route et aux conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - trop ou trop peu de voies. <p>Des voies de virage sont-elles aménagées au besoin?</p> <p>Les caractéristiques de chaque voie de virage sont-elles sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - longueur suffisante pour éviter le blocage des voies directes; - biseaux (longueur, tracé); - présignalisation. <p>Y a-t-il continuité de chaque voie avant et après l'intersection?</p> <p>La largeur des voies est-elle adéquate?</p> <ul style="list-style-type: none"> - voies trop étroites ou trop larges. <p>Chaque voie de circulation est-elle clairement délimitée (marquage et/ou canalisation)?</p>			
Canalisation	<p>La canalisation en place contribue-t-elle à améliorer la sécurité de tous les usagers de la route?</p> <ul style="list-style-type: none"> - délimitation claire de chaque trajectoire (p.ex. îlots séparant les manœuvres conflictuelles, refuge central, etc.); <p>Les caractéristiques de la canalisation sont-elles sécuritaires pour tous les types d'usagers?</p> <ul style="list-style-type: none"> - alignement de la canalisation, hauteur des bordures, traitements des extrémités, etc. 			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
Drainage	<p>Les capacités de drainage sont-elles adaptées aux conditions de pluie?</p> <ul style="list-style-type: none"> - vérifier les accumulations d'eau, l'érosion de la route. <p>Les ouvrages de drainage sont-ils sécuritaires pour tous les usagers de la route, deux-roues y compris?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter les ouvrages de drainage profonds et ouverts près des voies de circulation. 			
État de la surface de roulement	<p>L'adhérence de surface est-elle adéquate?</p> <ul style="list-style-type: none"> - polissage, ressuage, contamination; - tests de frottement (au besoin). <p>L'uni de la surface est-il adéquat?</p> <ul style="list-style-type: none"> - nids de poule, ondulations, orniérage, etc. <p>La chaussée est-elle exempte de matériaux meubles (sable, pierres, feuilles, etc.)?</p>			
Abords	<p>Dans la zone de dégagement requise, les abords de la route sont-ils exempts d'éléments susceptibles d'accroître la gravité des accidents lors de pertes de contrôle?</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes de talus abruptes; - obstacles rigides (arbres, poteaux, rocs, etc.); - extrémités hasardeuses de ponts, ouvrages de drainage, etc.; - obstacles fixes en face d'intersections en T. <p>Les glissières de sécurité sont-elles en bon état?</p> <p>Les équipements routiers situés sur les abords sont-ils exempts de dommages pouvant avoir été causés par des véhicules en perte de contrôle?</p> <p>Les abords sont-ils exempts d'éléments susceptibles d'accaparer une trop grande partie de l'attention des conducteurs (p. ex. publicité)?</p>			
Accès	<p>Les emplacements et la géométrie des accès sont-ils sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter la présence d'accès dans les quadrants d'une intersection; - éviter les accès trop étroits ou trop larges; - canaliser au besoin les accès pour réduire les conflits de circulation (îlot séparateur, terre-plein central, voie d'accélération ou décélération, etc.). 			
Signalisation Feux de circulation	<p>La signalisation/feux de circulation sont-ils conformes aux normes ?</p> <ul style="list-style-type: none"> - équipement manquant ou superflu, dimension, emplacement (hauteur et décalage latéral); - vérifier l'emplacement des panneaux d'arrêt. <p>Le niveau d'avertissement est-il adapté à la situation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - présignalisation requise? (p. ex. premier arrêt obligatoire après plusieurs kilomètres, fin de route à grande vitesse). <p>La signalisation/feux sont-ils visibles et évidents?</p> <ul style="list-style-type: none"> - attention aux obstructions visuelles saisonnières ou temporaires (véhicules stationnés ou arrêtés, végétation, etc.); - attention aux situations qui réduisent la visibilité des lentilles de feux et exigent un traitement particulier (écran, type de lentille). <p>Les panneaux et feux sont-ils en bon état?</p> <ul style="list-style-type: none"> - usés, brisés, sales, non rétro réfléchissants. <p>Les poteaux sont-ils protégés ou fragilisés au besoin?</p>			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Marquage	<p>Le marquage est-il conforme aux normes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - ligne axiale, ligne de rive, ligne de démarcation de voie, ligne d'arrêt; - traverses (piétons, cyclistes, autres); - largeur, longueur, couleur, emplacement, tracé. <p>L'emplacement de chaque voie et les trajectoires de chaque manoeuvre sont-ils clairement délimités par le marquage et la canalisation?</p> <p>La largeur résultante des voies et des accotements convient-elle à la catégorie de route et aux types d'usagers?</p> <p>Le marquage est-il bien visible en tout temps?</p> <ul style="list-style-type: none"> - nuit, lever et coucher du soleil, pluie, hiver, etc. <p>A-t-on évité les possibilités de confusion?</p> <ul style="list-style-type: none"> - entre le marquage permanent et temporaire; - entre le nouveau marquage et l'ancien. 			
Éclairage routier	<p>Le système d'éclairage routier est-il conforme aux normes?</p> <p>L'éclairage est-il en bon état de fonctionnement?</p> <p>Les poteaux du système d'éclairage sont-ils adéquatement protégés ou fragilisés au besoin?</p> <p>L'intersection est-elle exempte de conditions d'éclairage dangereuses (en tout temps)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - lever ou coucher de soleil, hiver, brouillard. <p>Sinon, des mesures appropriées ont-elles été prises pour réduire le risque?</p>			
Combinaison dangereuse	<p>L'intersection est-elle exempte d'éléments additionnels susceptibles d'accroître le risque ou la gravité des accidents (courbe horizontale, pente, passage à niveau, pont, etc.)?</p>			
Piéton	<p>Des traverses pour piétons ou cyclistes</p> <ul style="list-style-type: none"> - sont-elles aménagées au besoin? - sont-elles situées aux endroits appropriés? <p>Le niveau de protection accordé aux piétons et cyclistes est-il approprié pour la catégorie de route et les conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - lorsque les vitesses, les débits ou les proportions de poids lourds sont importants, il faut séparer les manoeuvres de traverse dans le temps (phases exclusives) ou dans l'espace (traverses étagées). <p>Les traverses pour piétons ou cyclistes sont-elles conformes aux normes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - emplacement, type, largeur, signalisation. <p>Des barrières de sécurité ont-elles été installées au besoin pour diriger les piétons vers les traverses?</p> <p>Les distances de visibilité aux traverses sont-elles adéquates?</p> <ul style="list-style-type: none"> - les véhicules doivent pouvoir voir les piétons et cyclistes (et vice-versa); - attention aux obstructions de visibilité temporaires ou saisonnières. <p>Des refuges sur le terre-plein central ont-ils été aménagés au besoin?</p>			

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
Piéton (suite)	<p>Les besoins de toutes les catégories de piétons ont-ils été pris en compte adéquatement?</p> <ul style="list-style-type: none"> - landaus, enfants, personnes âgées ou handicapées, fauteuils roulants (p. ex. bordures surbaissées, pentes douces, main courantes, etc.). <p>Est-ce qu'une signalisation adéquate avertit les conducteurs de la présence de piétons/cyclistes?</p> <p>Est-ce que les aménagements pour piétons sont adéquats pour un usage nocturne?</p> <hr/> <p><u>Feux de circulation</u></p> <p>Le réglage des feux offre-t-il une protection adéquate aux piétons et cyclistes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - phase exclusive au besoin, longueur et séquence adéquates de cette phase (elle doit suivre la phase principale). <p>Les têtes de feux piétons sont-elles clairement visibles?</p>			
Véhicule lourd	<p>Les rayons des quadrants de l'intersection conviennent-ils aux caractéristiques des véhicules lourds?</p> <ul style="list-style-type: none"> - empiètements. <p>Les distances de visibilité disponibles permettent-elles aux véhicules lourds de manœuvrer en sécurité?</p> <p>Les voies d'accélération et de décélération sont-elles adaptées aux caractéristiques et aux performances des véhicules lourds?</p> <ul style="list-style-type: none"> - longueur, largeur, biseau. 			
Autobus	<p>Les aménagements pour autobus sont-ils compatibles avec la sécurité?</p> <ul style="list-style-type: none"> - la protection des passagers qui montent ou descendent est-elle suffisante? - la présence d'un bus arrêté ou d'un abribus peut-elle nuire à la visibilité? - l'emplacement des arrêts d'autobus est-il adéquat pour réduire les traversées des piétons et les conflits de circulation? 			

DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES

ÉLÉMENTS	OK	COMMENTAIRES
Photos	<input type="checkbox"/>	
Vidéos	<input type="checkbox"/>	
Schéma d'aménagement	<input type="checkbox"/>	

DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES (au besoin)

ÉLÉMENTS	OK	COMMENTAIRES
Relevé de circulation	<input type="checkbox"/>	
Conflits de circulation	<input type="checkbox"/>	
Vitesses instantanées	<input type="checkbox"/>	
Retards, temps de parcours	<input type="checkbox"/>	
Distance de visibilité	<input type="checkbox"/>	
Minutage des feux de circulation	<input type="checkbox"/>	

SOMMAIRE

Municipalité : _____

Emplacement : _____

Date : _____

Analyste : _____

HISTORIQUE DU SITE

CATÉGORISATION

ACCIDENTS

OBSERVATIONS AU SITE

RECOMMANDATIONS

ANNEXE 6-4

Exemple

Diagnostic de sécurité

LISTES DE VÉRIFICATION

Municipalité : *Saint-Gilles*

Emplacement : *Route 325 et route 328*

Date : *Juin 2000*

Analyste : *Benoit Taillefer*

Motifs de l'analyse : *Une première analyse a été réalisée à ce site en 1995 et des modifications mineures ont alors été apportées à la signalisation et au marquage. Les plaintes répétées des usagers ont cependant amené le Conseil municipal à demander une nouvelle étude en 2000.*

Étape 1 - HISTORIQUE DU SITE (selon l'analyse de 1995)

Vérifier la disponibilité des informations suivantes :

ÉLÉMENTS	OK	COMMENTAIRES
Données		
Accidents <i>Du 1 jan 1992 au 31 déc 1994</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>7 accidents/3ans (voir le schéma d'accidents de 1995).</i>
Circulation	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>7 566 vpj, (voir le relevé de circulation de 1995).</i>
Géométrie	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Voir le schéma d'aménagement.</i>
Conclusions d'études antérieures (sécurité, distance de visibilité, vitesse instantanée, adhérence de surface, etc.)	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>- Le site n'a pas été identifié comme étant dangereux. - le taux d'accident était inférieur au taux critique). - La signalisation a été remise à la norme.</i>
Rapports d'entretien	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Non disponible.</i>
Photos/vidéos	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Voir photos (1995).</i>
Connaissances du personnel	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Non disponible.</i>
Demandes/plaintes/discussions (usagers de la route, riverains, élus)	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>La requête de la municipalité faisait mention des difficultés qu'ont les conducteurs de véhicules lourds à effectuer les manœuvres de virage à l'intersection.</i>
Autres	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>La visibilité dans le quadrant Nord-Est est restreinte par la présence d'un bâtiment historique.</i>

Conclusions :

Une étude de sécurité effectuée en 1995 a mis en lumière les problèmes suivants :

- 1. La distance de visibilité est restreinte dans le quadrant Nord-Est par la présence d'un bâtiment historique.*
- 2. Les conducteurs de véhicules lourds ont de la difficulté à compléter les manœuvres de virage (empiètements).*

Recommandations :

- Mise à la norme de la signalisation*
- Marquage de lignes d'arrêts en retrait de l'intersection*

Étape 2 - CATÉGORISATION

Catégorie du site : *Intersection en T, croisement de deux routes principales, arrêt sur la tige du T, milieu urbanisé (village)*

Étape 3 - ANALYSE DES ACCIDENTS

TÂCHE	OK	COMMENTAIRES
<p>Sélectionner la période d'accidents et extraire les données</p> <p>De <u>1 Jan 1997</u> à <u>31 Déc 1999</u></p>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Voir le schéma d'accidents de 2000.</i>
<p>Sélectionner la population de référence (Annexe 5.1)</p>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Intersection en T avec arrêt sur la tige du T, milieu urbain (village).</i>
<p>Préparer les sommaires d'accidents (Section 6.3.2)</p> <p>Schémas d'accidents <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Tableaux sommaires <input type="checkbox"/></p> <p>Tableaux comparatifs <input checked="" type="checkbox"/></p>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Inclus.</i> <i>Inclus.</i>
<p>Calculer les indicateurs de sécurité (Section 5.3.1)</p>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Fréquence d'accidents : 21 accidents / 3 ans. Taux d'accidents : (1,82 acc / Mvéh-km). Taux d'accidents critique : (1,2 acc / Mvéh-km).</i>
<p>Identifier les patrons d'accidents anormaux (Section 5.3.2)</p>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Deux types d'accidents sont problématiques :</i> <ul style="list-style-type: none"> - accidents à angle droit 43 % - accidents impliquant un véhicule lourd 17 %.
<p>Rechercher les facteurs accidentogènes (Annexe 6-2) (à compléter au site)</p>		

Conclusions :

- *Le taux d'accidents est supérieur au taux d'accidents critique (ce site est problématique).*
- *2 types d'accidents doivent être analysés plus en détails : angles droits et accidents avec camion.*

IMPORTANT

Apporter au site les tables d'accidents pertinentes

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - PRÉPARATION

Réunir les articles suivants :

ARTICLES	OK
<p>Pour toutes les études :</p> <ul style="list-style-type: none"> Appareil-photo (film ou mémoire, piles) Caméra vidéo et support d'enregistrement en quantité suffisante Ruban et roue à mesurer Carnet, crayons, gomme, règle Téléphone cellulaire Plans existants Conclusions des études antérieures Listes de vérification pour diagnostic Tables d'accidents 	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/>
<p>Selon les études :</p> <ul style="list-style-type: none"> Dispositif de visée et cible (<i>distance de visibilité</i>) Pistolet radar ou laser (<i>vitesse instantanée</i>) Chronomètre (<i>retards, temps de parcours, relevé de circulation</i> phases des feux de circulation) Formulaires de comptage, compteur mécanique ou électronique (<i>relevé de circulation</i>) Niveau (dévers) Magnétophone 	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Pour la sécurité des l'analystes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Casque, veste et bottes de sécurité Feux clignotant et autre matériel de signalisation Assistance policière (au besoin) 	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

IMPORTANT

La visite du site doit être planifiée à un moment où les problèmes identifiés sont le plus susceptibles d'être observés.

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - FAMILIARISATION

TÂCHES		OK	COMMENTAIRES																																																																																																								
Parcourir le site dans toutes les directions et noter les problèmes évidents <ul style="list-style-type: none"> - caractéristiques de la route - exploitation du trafic - comportement des usagers de la route 		<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																									
Vérifier le niveau de cohérence général de l'environnement routier en fonction des éléments suivants : <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Catégorie de route</td> <td style="width: 25%;">Section <input type="checkbox"/></td> <td colspan="2">Nombre de voies (route)</td> </tr> <tr> <td>princ. sec.</td> <td>Intersection <input checked="" type="checkbox"/></td> <td colspan="2">princ. sec.</td> </tr> <tr> <td>artère <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Type T <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>1 voie <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>collectrice <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td>+ <input type="checkbox"/></td> <td>2 voies <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>locale <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td>Y <input type="checkbox"/></td> <td>voies multiples <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>X <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>>4 <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>carrefour giratoire <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Milieu</td> <td>Type de contrôle</td> <td colspan="2">Type de chaussée</td> </tr> <tr> <td>rural <input type="checkbox"/></td> <td>aucun <input type="checkbox"/></td> <td colspan="2">princ. sec.</td> </tr> <tr> <td>urbain <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>cédez <input type="checkbox"/></td> <td>non-divisé <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>arrêts (secondaire) <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>divisé <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>arrêts multiples <input type="checkbox"/></td> <td>autoroute <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>feux <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Limite de vitesse</td> <td>Circulation</td> <td colspan="2">Occupation des sols adjacents</td> </tr> <tr> <td>Principale <u>50</u> km / h</td> <td style="text-align: right;">Débit</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Secondaire <u>50</u> km / h</td> <td>motorisée 10 526</td> <td>résidentiel <input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>La limite de vitesse affichée est-elle cohérente avec la fonction de la route, ses caractéristiques géométriques, les caractéristiques de la circulation et l'utilisation du territoire adjacent?</td> <td>passagers _____</td> <td>commercial <input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</td> <td>2 roues _____</td> <td>industriel <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>bus _____</td> <td>agricole <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>véhicules lourds _____</td> <td>forestier <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>autres _____</td> <td>autres <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td><u>non motorisée</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>piétons _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>cyclistes _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>autres _____</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Catégorie de route	Section <input type="checkbox"/>	Nombre de voies (route)		princ. sec.	Intersection <input checked="" type="checkbox"/>	princ. sec.		artère <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Type T <input checked="" type="checkbox"/>	1 voie <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		collectrice <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	+ <input type="checkbox"/>	2 voies <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		locale <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Y <input type="checkbox"/>	voies multiples <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			X <input type="checkbox"/>				>4 <input type="checkbox"/>				carrefour giratoire <input type="checkbox"/>			Milieu	Type de contrôle	Type de chaussée		rural <input type="checkbox"/>	aucun <input type="checkbox"/>	princ. sec.		urbain <input checked="" type="checkbox"/>	cédez <input type="checkbox"/>	non-divisé <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>			arrêts (secondaire) <input checked="" type="checkbox"/>	divisé <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			arrêts multiples <input type="checkbox"/>	autoroute <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			feux <input type="checkbox"/>			Limite de vitesse	Circulation	Occupation des sols adjacents		Principale <u>50</u> km / h	Débit			Secondaire <u>50</u> km / h	motorisée 10 526	résidentiel <input checked="" type="checkbox"/>		La limite de vitesse affichée est-elle cohérente avec la fonction de la route, ses caractéristiques géométriques, les caractéristiques de la circulation et l'utilisation du territoire adjacent?	passagers _____	commercial <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	2 roues _____	industriel <input type="checkbox"/>			bus _____	agricole <input type="checkbox"/>			véhicules lourds _____	forestier <input type="checkbox"/>			autres _____	autres <input type="checkbox"/>			<u>non motorisée</u>				piétons _____				cyclistes _____				autres _____			<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Des résidents nous informent de l'ouverture récente d'un important moulin de coupe de bois dans les limites de la municipalité (1997). Un nouveau relevé de circulation doit en conséquence être effectué.</i>
Catégorie de route	Section <input type="checkbox"/>	Nombre de voies (route)																																																																																																									
princ. sec.	Intersection <input checked="" type="checkbox"/>	princ. sec.																																																																																																									
artère <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Type T <input checked="" type="checkbox"/>	1 voie <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																																																									
collectrice <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	+ <input type="checkbox"/>	2 voies <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																									
locale <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Y <input type="checkbox"/>	voies multiples <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																																																									
	X <input type="checkbox"/>																																																																																																										
	>4 <input type="checkbox"/>																																																																																																										
	carrefour giratoire <input type="checkbox"/>																																																																																																										
Milieu	Type de contrôle	Type de chaussée																																																																																																									
rural <input type="checkbox"/>	aucun <input type="checkbox"/>	princ. sec.																																																																																																									
urbain <input checked="" type="checkbox"/>	cédez <input type="checkbox"/>	non-divisé <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																									
	arrêts (secondaire) <input checked="" type="checkbox"/>	divisé <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																																																									
	arrêts multiples <input type="checkbox"/>	autoroute <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																																																									
	feux <input type="checkbox"/>																																																																																																										
Limite de vitesse	Circulation	Occupation des sols adjacents																																																																																																									
Principale <u>50</u> km / h	Débit																																																																																																										
Secondaire <u>50</u> km / h	motorisée 10 526	résidentiel <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																									
La limite de vitesse affichée est-elle cohérente avec la fonction de la route, ses caractéristiques géométriques, les caractéristiques de la circulation et l'utilisation du territoire adjacent?	passagers _____	commercial <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																									
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	2 roues _____	industriel <input type="checkbox"/>																																																																																																									
	bus _____	agricole <input type="checkbox"/>																																																																																																									
	véhicules lourds _____	forestier <input type="checkbox"/>																																																																																																									
	autres _____	autres <input type="checkbox"/>																																																																																																									
	<u>non motorisée</u>																																																																																																										
	piétons _____																																																																																																										
	cyclistes _____																																																																																																										
	autres _____																																																																																																										
Vérifier les problèmes évidents liés aux facteurs humains : (voir attentes des conducteurs et tâche de conduite) <p>Caractéristiques pouvant surprendre le conducteur (attentes) (changements inhabituels ou inattendus dans le tracé, le profil en travers, la surface de roulement, la signalisation, le marquage, la circulation, l'occupation des sols) Vérifier le respect des :</p> <ul style="list-style-type: none"> - attentes à court terme (acquises durant le parcours); - attentes à long terme (acquises durant la vie du conducteur); - attentes liées aux événements (événements rares). <p>Possibilités de surcharge</p> <ul style="list-style-type: none"> - trop d'informations; - information trop complexe. <p>Éléments pouvant favoriser la somnolence ou l'inattention</p>		<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<i>La route principale bifurque de l'Est vers le Nord à cette intersection.</i> <i>Il s'agit du premier arrêt obligatoire depuis 12 km pour les usagers en provenance du Nord. Ils circulent cependant dans une zone urbaine depuis 2 km.</i>																																																																																																								

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - HISTORIQUE DU SITE

TÂCHE	OK	
Vérifier si les problèmes identifiés lors d'études antérieures ont été corrigés avec succès.	<input checked="" type="checkbox"/>	

Conclusions :

- *La signalisation a été corrigée (conforme aux normes).*
- *Les lignes d'arrêts sont effacées.*

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - PROBLÈMES À DES SITES SEMBLABLES

TÂCHE	OK	
Vérifier si des problèmes souvent observés à des sites semblables le sont aussi au site analysé (<i>selon les résultats d'études antérieures effectuées à des sites semblables, les guides disponibles, etc.</i>).	<input type="checkbox"/>	

Conclusions :

Étape 4 - OBSERVATIONS AU SITE - FACTEURS ACCIDENTOGÈNES

TÂCHE	OK	
Compléter l'analyse des accidents amorcée à l'étape 3 en vérifiant, pour chacun des patrons d'accidents anormaux, les facteurs contributifs potentiels et les actions possibles (à l'aide des tables de l' annexe 6-2)	<input checked="" type="checkbox"/>	

Conclusions :

Accidents impliquant un véhicule lourd

Un moulin de coupe de bois, situé à 2 km au Nord de l'intersection, génère un trafic important de véhicules lourds.

Les véhicules lourds qui effectuent une manœuvre de virage à droite vers le Nord à l'intersection empiètent sur la voie opposée. Certains véhicules qui sont immobilisés en direction Sud doivent faire marche arrière pour permettre à ces véhicules lourds de compléter leur manœuvre.

La présence, à proximité de l'intersection, d'une voie ferrée, d'un pont et d'un bâtiment historique rend les améliorations géométriques difficiles.

Accidents à angle

La présence du bâtiment historique dans le quadrant Nord-Est de l'intersection force les véhicules immobilisés sur l'approche du Nord et voulant effectuer une manœuvre de virage à s'avancer considérablement dans l'intersection pour obtenir une distance de visibilité suffisante.

Les véhicules lourds qui tournent de l'Est vers de Nord empiètent sur la voie opposée.

Des files de véhicules sont observées sur la tige du T à l'heure de pointe (approche du Nord).

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS		OUI	NON	COMMENTAIRES
EXPLOITATION DU TRAFIC				
Général	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans voir de condition de circulation hasardeuse?</p> <ul style="list-style-type: none"> - délais excessifs (usagers motorisés et non motorisés); - files de véhicules; - créneaux de manœuvres insuffisants; - non respect des règles de circulation (arrêt, feu rouge, etc.); <p>Des traverses pour piétons ou cyclistes</p> <ul style="list-style-type: none"> - sont-elles aménagées au besoin? - sont-elles situées aux endroits appropriés? <p>Effectuer au besoin un relevé de circulation, une étude de délais, de capacité)</p>			<i>Certains usagers de la tige du T (approche du Nord), qui subissent de longs retards, effectuent des manœuvres hasardeuses.</i>
Mode de contrôle de la circulation	<p>Le mode de contrôle de la circulation est-il adapté aux conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - aucun, cédez, arrêt sur approches secondaires, arrêts toutes directions, feu de circulation; - les phases du feu de circulation sont-elles adéquates (nombre, longueur)? 			<i>Une file de véhicules a été observée sur l'approche du Nord. Des calculs de capacité sont requis.</i>
Patron de circulation	<p>L'intersection est-elle exempte de distribution de circulation inhabituelle pouvant surprendre les conducteurs (p. ex. changement de direction de la route principale).</p>			<i>La route principale change de direction.</i>
Trajectoire	<p>Les trajectoires souhaitables sont-elles faciles à identifier?</p>			<i>Les véhicules lourds qui tournent de l'Est vers le Nord empiètent sur les voies opposées.</i>
Vitesse	<p>Les vitesses pratiquées sont-elles adéquates en fonction des conditions routières? (effectuer au besoin une étude de vitesses instantanées)</p>	✓		
Conflit de circulation	<p>Les observations au site ont-elles été complétées sans observer de problèmes de conflits de circulation (entre usagers motorisés, entre usagers motorisés et non motorisés)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - effectuer au besoin une étude de conflits de circulation. 			<i>Les piétons ont de la difficulté à traverser à l'intersection.</i>

Voir aussi :

Piétons/cyclistes
Véhicules lourds

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Type d'intersection	<p>La présence de ce type d'intersection (en T, en croix, carrefour giratoire) est-elle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cohérente avec l'environnement routier? - permise par les normes en vigueur (selon la catégorie de route). <p>La densité d'intersections est-elle adaptée à la catégorie de route?</p>	✓		
Aménagement	<p>Les caractéristiques de l'intersection sont-elles adaptées à la catégorie de route et aux conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - rayons de giration adéquats (empiètements des longs véhicules); - surface d'intersection excessive; - configuration d'intersection inhabituelle ou complexe (plus de 4 branches, biais, décalage). 		✓	
Distance de visibilité	<p>La présence de l'intersection est-elle évidente pour tous les usagers de la route?</p> <p>Les distances de visibilité disponibles permettent-elles d'effectuer des manœuvres d'arrêts en sécurité (sur l'ensemble de l'intersection)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances d'arrêts requises; [distance de freinage (courbe)] - vérifier les distances de visibilité disponibles aux fins de files potentielles de véhicules. <p>Les distances de visibilité disponibles permettent-elle d'effectuer en sécurité toutes les manœuvres autorisées?</p> <ul style="list-style-type: none"> - comparer les distances de visibilité disponibles et les distances de manœuvres requises; - vérifier la présence d'obstructions visuelles dans chacun des quadrants de l'intersection (courbe horizontale, etc.); - attention aux obstructions visuelles saisonnières ou temporaires qui ne sont pas nécessairement présentes lors de la visite du site (véhicules stationnés, végétation, etc.). 		✓	<i>Distance de visibilité insuffisante dans le quadrant Nord-Est.</i>
Tracé en plan Profil en long	<p>L'environnement immédiat de l'intersection est-il exempt de courbe horizontale ou de pente susceptible de réduire la visibilité et d'accroître les difficultés de manœuvres?</p>	✓		
Voie	<p>Le nombre de voies convient-il à la catégorie de route et aux conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - trop ou trop peu de voies. <p>Des voies de virage sont-elles aménagées au besoin?</p> <p>Les caractéristiques de chaque voie de virage sont-elles sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - longueur suffisante pour éviter le blocage des voies directes; - biseaux (longueur, tracé); - présignalisation. <p>Y a-t-il continuité de chaque voie avant et après l'intersection?</p> <p>La largeur des voies est-elle adéquate?</p> <ul style="list-style-type: none"> - voies trop étroites ou trop larges. <p>Chaque voie de circulation est-elle clairement délimitée (marquage et/ou canalisation)?</p>	✓		
Canalisation	<p>La canalisation en place contribue-t-elle à améliorer la sécurité de tous les usagers de la route?</p> <ul style="list-style-type: none"> - délimitation claire de chaque trajectoire (p.ex. îlots séparant les manœuvres conflictuelles, refuge central, etc.); <p>Les caractéristiques de la canalisation sont-elles sécuritaires pour tous les types d'usagers?</p> <ul style="list-style-type: none"> - alignement de la canalisation, hauteur des bordures, traitements des extrémités, etc. 	✓		

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
Drainage	<p>Les capacités de drainage sont-elles adaptées aux conditions de pluie?</p> <ul style="list-style-type: none"> - vérifier les accumulations d'eau, l'érosion de la route. <p>Les ouvrages de drainage sont-ils sécuritaires pour tous les usagers de la route, deux-roues y compris?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter les ouvrages de drainage profonds et ouverts près des voies de circulation. 	✓		
État de la surface de roulement	<p>L'adhérence de surface est-elle adéquate?</p> <ul style="list-style-type: none"> - polissage, ressuage, contamination; - tests de frottement (au besoin). <p>L'uni de la surface est-il adéquat?</p> <ul style="list-style-type: none"> - nids de poule, ondulations, orniérage, etc. <p>La chaussée est-elle exempte de matériaux meubles (sable, pierres, feuilles, etc.)?</p>	✓		
Abords	<p>Dans la zone de dégagement requise, les abords de la route sont-ils exempts d'éléments susceptibles d'accroître la gravité des accidents lors de pertes de contrôle?</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes de talus abruptes; - obstacles rigides (arbres, poteaux, rocs, etc.); - extrémités hasardeuses de ponts, ouvrages de drainage, etc.; - obstacles fixes en face d'intersections en T. <p>Les glissières de sécurité sont-elles en bon état?</p> <p>Les équipements routiers situés sur les abords sont-ils exempts de dommages pouvant avoir été causés par des véhicules en perte de contrôle?</p> <p>Les abords sont-ils exempts d'éléments susceptibles d'accaparer une trop grande partie de l'attention des conducteurs (p. ex. publicité)?</p>	✓		
Accès	<p>Les emplacements et la géométrie des accès sont-ils sécuritaires?</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter la présence d'accès dans les quadrants d'une intersection; - éviter les accès trop étroits ou trop larges; - canaliser au besoin les accès pour réduire les conflits de circulation (îlot séparateur, terre-plein central, voie d'accélération ou décélération, etc.). 	✓		<i>Un restaurant est situé en face de la tige du T. La largeur de cet accès est beaucoup trop large.</i>
Signalisation Feux de circulation	<p>La signalisation/feux de circulation sont-ils conformes aux normes ?</p> <ul style="list-style-type: none"> - équipement manquant ou superflu, dimension, emplacement (hauteur et décalage latéral); - vérifier l'emplacement des panneaux d'arrêt. <p>Le niveau d'avertissement est-il adapté à la situation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - présignalisation requise? (p. ex. premier arrêt obligatoire après plusieurs kilomètres, fin de route à grande vitesse). <p>La signalisation/feux sont-ils visibles et évidents?</p> <ul style="list-style-type: none"> - attention aux obstructions visuelles saisonnières ou temporaires (véhicules stationnés ou arrêtés, végétation, etc.); - attention aux situations qui réduisent la visibilité des lentilles de feux et exigent un traitement particulier (écran, type de lentille). <p>Les panneaux et feux sont-ils en bon état?</p> <ul style="list-style-type: none"> - usés, brisés, sales, non rétro réfléchissants. <p>Les poteaux sont-ils protégés ou fragilisés au besoin?</p>	✓		<i>Les priorités de passage sont contrôlées par un arrêt sur la tige du T. Ce panneau est placé en retrait latéral, ce qui le rend plus difficilement perceptible.</i>

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES				
Marquage	<p>Le marquage est-il conforme aux normes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - ligne axiale, ligne de rive, ligne de démarcation de voie, ligne d'arrêt; - traverses (piétons, cyclistes, autres); - largeur, longueur, couleur, emplacement, tracé. <p>L'emplacement de chaque voie et les trajectoires de chaque manoeuvre sont-ils clairement délimités par le marquage et la canalisation?</p> <p>La largeur résultante des voies et des accotements convient-elle à la catégorie de route et aux types d'usagers?</p> <p>Le marquage est-il bien visible en tout temps?</p> <ul style="list-style-type: none"> - nuit, lever et coucher du soleil, pluie, hiver, etc. <p>A-t-on évité les possibilités de confusion?</p> <ul style="list-style-type: none"> - entre le marquage permanent et temporaire; - entre le nouveau marquage et l'ancien. 			<i>Le marquage est effacé à certains endroits</i>
Éclairage routier	<p>Le système d'éclairage routier est-il conforme aux normes?</p> <p>L'éclairage est-il en bon état de fonctionnement?</p> <p>Les poteaux du système d'éclairage sont-ils adéquatement protégés ou fragilisés au besoin?</p> <p>L'intersection est-elle exempte de conditions d'éclairage dangereuses (en tout temps)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - lever ou coucher de soleil, hiver, brouillard. <p>Sinon, des mesures appropriées ont-elles été prises pour réduire le risque?</p>	✓		
Combinaison dangereuse	<p>L'intersection est-elle exempte d'éléments additionnels susceptibles d'accroître le risque ou la gravité des accidents (courbe horizontale, pente, passage à niveau, pont, etc.)?</p>	✓		
Piéton	<p>Des traverses pour piétons ou cyclistes</p> <ul style="list-style-type: none"> - sont-elles aménagées au besoin? - sont-elles situées aux endroits appropriés? <p>Le niveau de protection accordé aux piétons et cyclistes est-il approprié pour la catégorie de route et les conditions de circulation?</p> <ul style="list-style-type: none"> - lorsque les vitesses, les débits ou les proportions de poids lourds sont importants, il faut séparer les manoeuvres de traverse dans le temps (phases exclusives) ou dans l'espace (traverses étagées). <p>Les traverses pour piétons ou cyclistes sont-elles conformes aux normes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - emplacement, type, largeur, signalisation. <p>Des barrières de sécurité ont-elles été installées au besoin pour diriger les piétons vers les traverses?</p> <p>Les distances de visibilité aux traverses sont-elles adéquates?</p> <ul style="list-style-type: none"> - les véhicules doivent pouvoir voir les piétons et cyclistes (et vice-versa); - attention aux obstructions de visibilité temporaires ou saisonnières. <p>Des refuges sur le terre-plein central ont-ils été aménagés au besoin?</p>		✓	<i>Pas de traverse piétons.</i>

Étape 4 - OBSERVATIONS DÉTAILLÉES - INTERSECTIONS

INTERSECTIONS (suite)		OUI	NON	COMMENTAIRES
Piéton (suite)	<p>Les besoins de toutes les catégories de piétons ont-ils été pris en compte adéquatement?</p> <ul style="list-style-type: none"> - landaus, enfants, personnes âgées ou handicapées, fauteuils roulants (p. ex. bordures surbaissées, pentes douces, main courantes, etc.). <p>Est-ce qu'une signalisation adéquate avertit les conducteurs de la présence de piétons/cyclistes?</p> <p>Est-ce que les aménagements pour piétons sont adéquats pour un usage nocturne?</p> <hr/> <p><u>Feux de circulation</u></p> <p>Le réglage des feux offre-t-il une protection adéquate aux piétons et cyclistes?</p> <ul style="list-style-type: none"> - phase exclusive au besoin, longueur et séquence adéquates de cette phase (elle doit suivre la phase principale). <p>Les têtes de feux piétons sont-elles clairement visibles?</p>			
Véhicule lourd	<p>Les rayons des quadrants de l'intersection conviennent-ils aux caractéristiques des véhicules lourds?</p> <ul style="list-style-type: none"> - empiètements. <p>Les distances de visibilité disponibles permettent-elles aux véhicules lourds de manœuvrer en sécurité?</p> <p>Les voies d'accélération et de décélération sont-elles adaptées aux caractéristiques et aux performances des véhicules lourds?</p> <ul style="list-style-type: none"> - longueur, largeur, biseau. 		✓	<i>Empiètements</i>
Autobus	<p>Les aménagements pour autobus sont-ils compatibles avec la sécurité?</p> <ul style="list-style-type: none"> - la protection des passagers qui montent ou descendent est-elle suffisante? - la présence d'un bus arrêté ou d'un abribus peut-elle nuire à la visibilité? - l'emplacement des arrêts d'autobus est-il adéquat pour réduire les traversées des piétons et les conflits de circulation? 	✓		

DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES

ÉLÉMENTS	OK	COMMENTAIRES
Photos	<input checked="" type="checkbox"/>	
Vidéos	<input type="checkbox"/>	
Schéma d'aménagement	<input checked="" type="checkbox"/>	

DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES (au besoin)

ÉLÉMENTS	OK	COMMENTAIRES
Relevé de circulation	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Ci-inclus</i>
Conflits de circulation	<input type="checkbox"/>	
Vitesses instantanées	<input type="checkbox"/>	
Retards, temps de parcours	<input type="checkbox"/>	
Distance de visibilité	<input type="checkbox"/>	
Minutage des feux de circulation	<input type="checkbox"/>	

SOMMAIRE

Municipalité : *Saint-Gilles*

Emplacement : *Route 325 et Route 328*

Date : *Juin 2000*

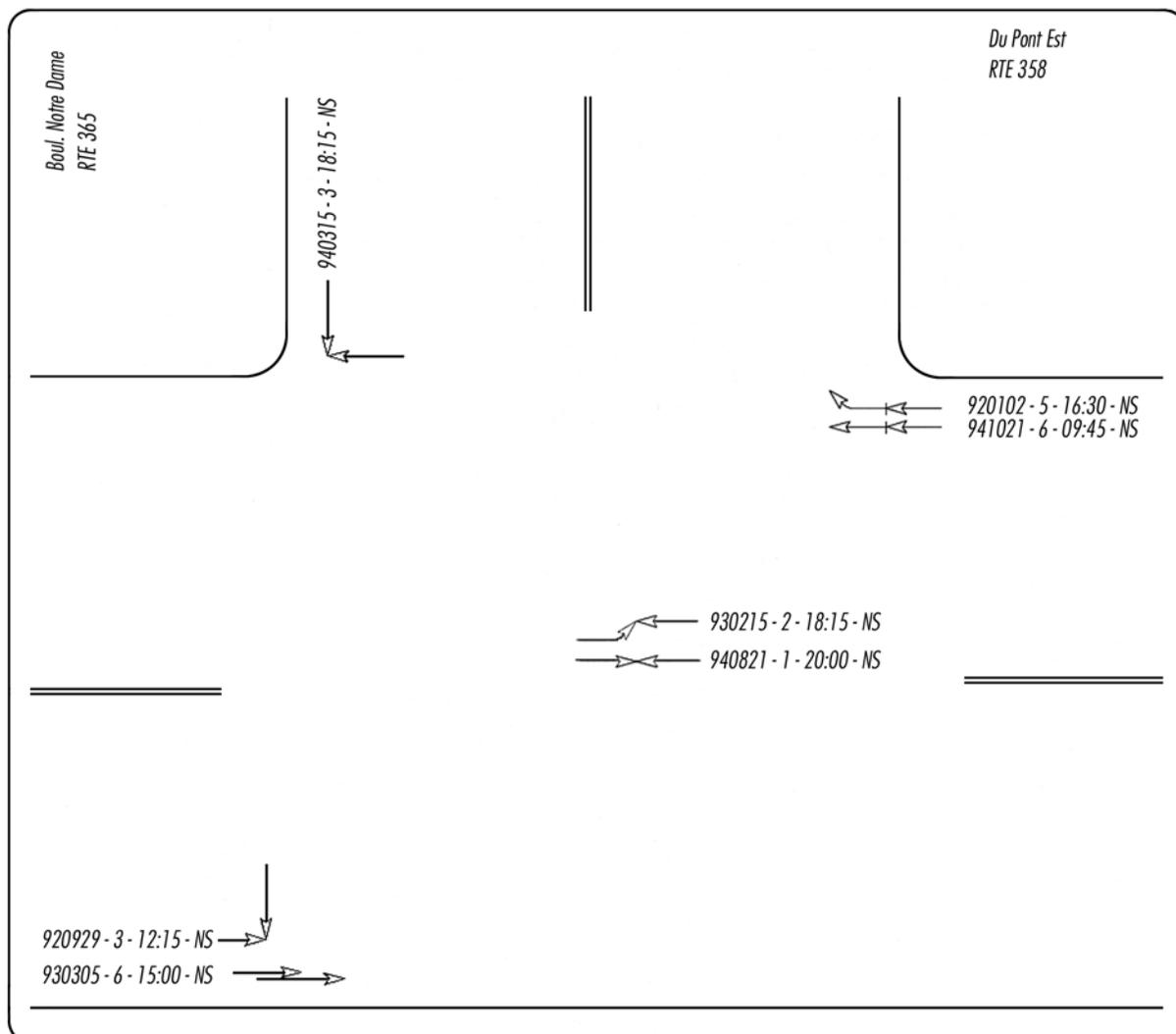
Analyste : *Benoit Taillefer*

HISTORIQUE DU SITE	<ul style="list-style-type: none">• <i>Les véhicules lourds ont de la difficulté à compléter leurs manœuvres de virages;</i>• <i>La distance de visibilité est restreinte dans le quadrant Nord-Est par la présence d'un bâtiment historique.</i>
CATÉGORISATION	<ul style="list-style-type: none">• <i>Intersection en T, croisement de deux routes principales, arrêt sur la tige du T, milieu urbanisé (village).</i>
ACCIDENTS	<ul style="list-style-type: none">• <i>21 accidents en 3 ans;</i>• <i>43 % sont des collisions à angle;</i>• <i>43 % se produisent entre 15:00 et 18:00;</i>• <i>17 % impliquent un véhicule lourd;</i>• <i>Le taux d'accidents est supérieur au taux critique (1,8 versus 1,2 acc./Mvéh).</i>
OBSERVATIONS AU SITE	<ul style="list-style-type: none">• <i>La distance de visibilité est restreinte dans le quadrant Nord-Est;</i>• <i>Accès commercial non-conforme face à la tige du T (restaurant);</i>• <i>Le rayon de virage du quadrant Nord-Est est trop restreint;</i>• <i>Des modifications géométriques sont difficilement envisageables (pont, bâtiment historique et voie ferrée);</i>• <i>Les véhicules lourds empiètent sur les voies opposées durant leurs manœuvres de virage;</i>• <i>Files d'attentes aux heures de pointe;</i>• <i>Manœuvres hasardeuses de certains usagers de la tige du T;</i>• <i>La visibilité du panneau d'arrêt est insuffisante;</i>• <i>Certaines lignes de marquage sont effacées (lignes d'arrêts, traverses pour piétons).</i>
RECOMMANDATIONS	<ul style="list-style-type: none">• <i>Selon les calculs de capacité, les critères d'installation de feux de circulation sont justifiés. Des feux seront donc installés et incluront une phase exclusive pour piétons;</i>• <i>Des traverses pour piétons seront aménagées;</i>• <i>Le marquage des lignes d'arrêt sera maintenu en retrait de l'intersection pour faciliter les manœuvres de virage des véhicules lourds;</i>• <i>La largeur excessive de l'accès sera contrôlée, conformément aux normes en vigueur.</i>

RELEVÉ DE CIRCULATION 1995

Approche:	EST				OUEST				NORD				Total
	G	TD	D	Total	G	TD	D	Total	G	TD	D	Total	
7:00 - 8:00	6	102	137	245	24	52	1	77	105	0	44	149	471
8:00 - 9:00	7	102	130	239	26	71	1	98	119	0	34	153	490
9:00 - 10:00	0	96	123	219	26	57	2	85	122	0	31	153	457
10:00 - 11:00	4	93	112	209	25	69	2	96	133	0		158	463
11:00 - 12:00	19	88	118	225	34	93	7	134	138	7	29	174	533
12:00 - 13:00	10	72	155	237	51	105	3	159	124	15	26	165	561
13:00 - 14:00	9	83	145	237	25	100	3	128	97	6	25	128	493
14:00 - 15:00	1	87	118	206	30	80	1	111	106	0	28	134	451
15:00 - 16:00	7	86	142	235	25	80	1	106	99	0	41	140	481
16:00 - 17:00	7	78	180	265	51	110	3	164	144	6	30	180	609
17:00 - 18:00	11	74	175	260	61	121	2	184	131	7	28	166	610
18:00 - 19:00	4	82	119	205	30	82	0	112	107	5	28	140	457
Total	85	1043	1654	2782	408	1020	26	1454	1425	46	369	1840	6076
DJMA	2782				1454				1840				6076

SCHEMA D'ACCIDENTS 1995



TABLEAUX COMPARATIFS 1995

Type d'accident					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
Arrière		2	29	17	66
Angle droit		2	29	16	69
Véhicule seul		0	0	26	0
Latéral		1	14	8	56
Gauche opposant		1	14	5	70
Frontal		1	14	4	75
Autres		0	0	25	0

Gravité					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
Mortels		0	0	1	0
Graves		0	0	4	0
Légers		0	0	17	0
DMS		7	100	79	81
DME		0	0	0	0
Légers/DMS		7	100	96	25
Mortels/Graves		0	0	5	0

Heure					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
00h00-00h59		0	0	1	0
01h00-01h59		0	0	2	0
02h00-02h59		0	0	2	0
03h00-03h59		0	0	2	0
04h00-04h59		0	0	1	0
05h00-05h59		0	0	1	0
06h00-06h59		0	0	1	0
07h00-07h59		0	0	2	0
08h00-08h59		1	14	5	70
09h00-09h59		1	14	4	75
10h00-10h59		0	0	5	0
11h00-11h59		0	0	6	0
12h00-12h59		1	14	7	60
13h00-13h59		0	0	7	0
14h00-14h59		0	0	7	0
15h00-15h59		1	14	8	56
16h00-16h59		1	14	9	52
17h00-17h59		0	0	6	0
18h00-18h59		1	14	6	65
19h00-19h59		0	0	5	0
20h00-20h59		1	14	4	75
21h00-21h59		0	0	4	0
22h00-22h59		0	0	3	0
23h00-23h59		0	0	3	0
99		0	0	2	0
Pointe_AM: 07h00-08h59		1	14	7	60
Jour 09h00-14h59		2	29	35	23
Pointe_PM: 15h00-17h59		2	29	23	50
Soir 18h00-22h59		2	29	20	58
Nuit 00h00-06h59		0	0	13	0

Genre d'accident					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
Véhicule automobile(11)		7	100	68	93
Piéton(12)		0	0	2	0
Train(13)		0	0	0	0
Animal(15)		0	0	4	0
Objets fixes(17 à 21 + 29)		0	0	8	0
Abords de route(17 à 99)		0	0	17	0

Type de véhicule					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
Auto/Camion(41+42+51)		14	100	85	90
Camion lourd/Autobus(43 à 50)		0	0	7	0
Moto/Cyclomoteurs(53+54)		0	0	1	0
Bicyclettes(57)		0	0	2	0
Motoneiges(56)		0	0	0	0
Autres(99)		0	0	0	0

État de la surface					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
Sèche		7	100	57	98
Mouillée		0	0	19	0
Enneigée		0	0	13	0
Glacée		0	0	8	0
Autres		0	0	1	0
Mouillée/Enneigée/Glacée		0	0	41	0
Enneigée/Glacée		0	0	0	0

Temps					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
Clair		7	100	55	98
Couvert		0	0	23	0
Pluie/Bruine(P/B)		0	0	9	0
Neige/Grêle(N/G)		0	0	8	0
Poudrierie/Tempête(P/T)		0	0	1	0
Clair/Couvert		7	100	78	82
Autres		0	0	2	0
Non clair (P/B + N/G + P/T)		0	0	18	0

Jour de la semaine					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
Dimanche		2	29	11	82
Lundi		0	0	12	0
Mardi		1	14	11	44
Mercredi		1	14	13	38
Jeudi		2	29	17	66
Vendredi		0	0	20	0
Samedi		1	14	15	32
Lundi-Jeudi		4	57	54	41
Vendredi-Dimanche		3	43	46	30

Mois					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
Janvier		1	14	11	44
Février		1	14	8	56
Mars		2	29	7	92
Avril		0	0	7	0
Mai		0	0	6	0
Juin		0	0	9	0
Juillet		0	0	9	0
Août		1	14	8	56
Septembre		1	14	7	60
Octobre		1	14	9	52
Novembre		0	0	8	0
Décembre		0	0	10	0
Hiver (Dec-Jan-Fev-Mars)		4	57	36	78
Été (Juin-Juill-Août-Sept)		2	29	33	27
Autres		1	14	30	8

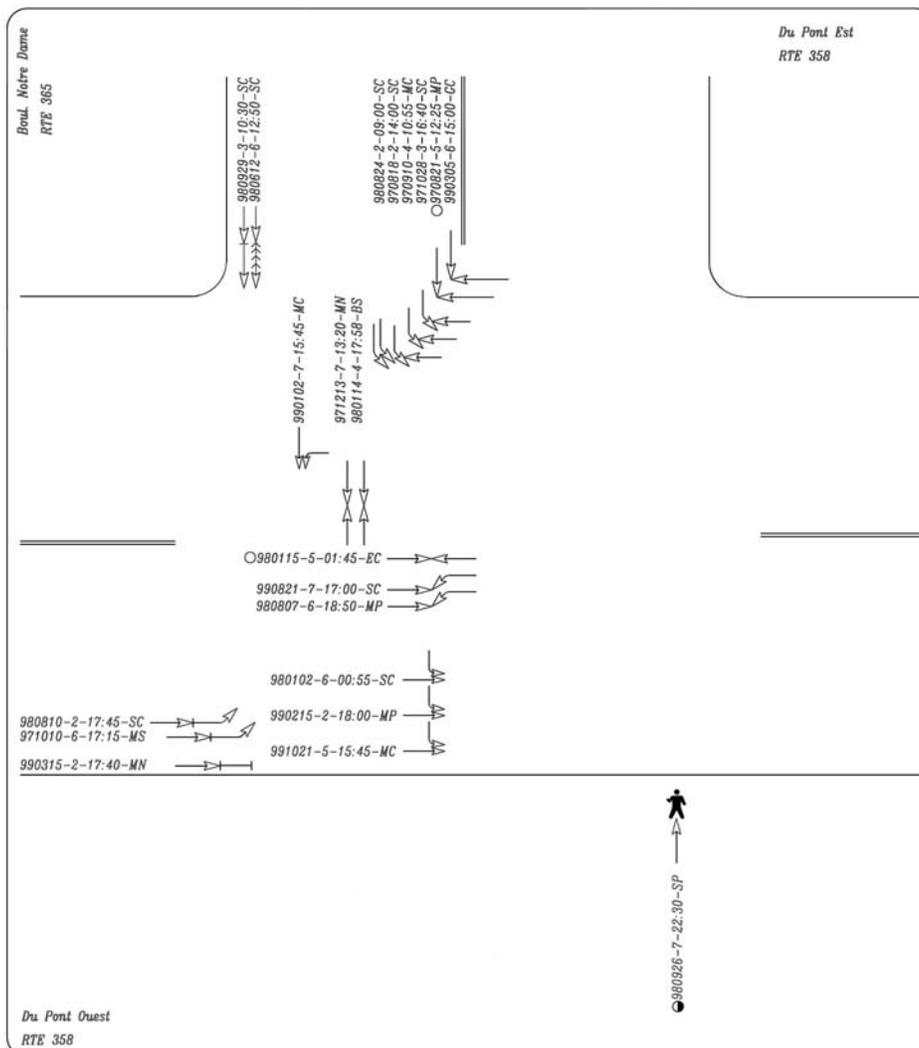
Années					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
1988		2	29	20	58
1989		2	29	20	58
1990		3	43	20	85

Nombre de véhicules					
État		Site		Pop	Site>Pop
		Nb	%	(%)	
1 véhicule		0	0	27	0
2 véhicules		7	100	69	93
3 véhicules et plus		0	0	4	0

RELEVÉ DE CIRCULATION 2000

Approche:	EST				OUEST				NORD				Total
	G	TD	D	Total	G	TD	D	Total	G	TD	D	Total	
7:00 - 8:00	3	109	168	280	28	68	1	97	224	0	51	275	652
8:00 - 9:00	4	87	203	294	30	86	2	118	165	0	42	207	619
9:00 - 10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	174	0	0	174	174
10:00 - 11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	236	0	0	236	236
11:00 - 12:00	13	44	100	157	17	72	1	90	213	4	28	243	490
12:00 - 13:00	29	128	245	402	61	119	8	188	268	9	40	317	907
13:00 - 14:00	5	73	91	169	20	72	2	94	220	3	24	247	510
14:00 - 15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	244	0	0	244	244
15:00 - 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	212	0	0	212	212
16:00 - 17:00	4	129	295	428	63	168	1	232	292	6	346	644	1304
17:00 - 18:00	15	94	268	377	42	123	3	168	241	5	280	526	1071
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	73	664	1370	2107	261	708	18	987	2489	27	809	3325	6419
DJMA	2107				987				3325				6419

SCHEMA D'ACCIDENTS 2000



TABLEAUX COMPARATIFS 2000

Type d'accident				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
Arrière	5	24	17	72
Angle droit	9	43	16	100
Véhicule seul	1	5	26	0
Latéral	1	5	8	17
Gauche opposant	2	10	5	72
Frontal	3	14	4	95
Autres	0	0	25	0

Gravité				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
Mortels	0	0	1	0
Graves	1	5	4	42
Légers	2	10	17	11
DMS	18	86	79	67
DME	0	0	0	0
Légers/DMS	20	95	96	20
Mortels/Graves	1	5	5	34

Genre d'accident				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
Véhicule automobile(11)	20	95	68	100
Piéton(12)	1	5	2	65
Train(13)	0	0	0	0
Animal(15)	0	0	4	0
Objets fixes(17 à 21 + 29)	0	0	8	0
Abords de route(17 à 99)	0	0	17	0

Type de véhicule				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
Auto/Camion(41+42+51)	33	80	85	9
Camion lourd/Autobus(43 à 50)	7	17	7	97
Moto/Cyclomoteurs(53+54)	1	2	1	66
Bicyclettes(57)	0	0	2	0
Motoneiges(56)	0	0	0	0
Autres(99)	0	0	0	0

État de la surface				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
Sèche	9	43	57	6
Mouillée	9	43	19	99
Enneigée	1	5	13	5
Glacée	1	5	8	17
Autres	1	5	1	81
Mouillée/Enneigée/Glacée	11	52	41	80
Enneigée/Glacée	2	10	0	100

Temps				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
Clair	13	62	55	66
Couvert	2	10	23	3
Pluie/Bruine(P/B)	4	19	9	89
Neige/Grêle(N/G)	2	10	8	49
Poudrierie/Tempête(P/T)	0	0	1	0
Clair/Couvert	15	71	78	16
Autres	0	0	2	0
Non clair (P/B + N/G + P/T)	6	29	18	84

Mois				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
Janvier	4	19	11	81
Février	1	5	8	17
Mars	2	10	7	56
Avril	0	0	7	0
Mai	0	0	6	0
Juin	1	5	9	14
Juillet	0	0	9	0
Août	6	29	8	100
Septembre	3	14	7	82
Octobre	3	14	9	71
Novembre	0	0	8	0
Décembre	1	5	10	11
Hiver (Dec-Jan-Fev-Mars)	8	38	36	50
Été (Juin-Juil-Août-Sept)	10	48	33	88
Autres	3	14	30	3

Jour de la semaine				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
Dimanche	0	0	11	0
Lundi	5	24	12	90
Mardi	2	10	11	31
Mercredi	2	10	13	22
Jeudi	3	14	17	28
Vendredi	5	24	20	59
Samedi	4	19	15	61
Lundi-Jeudi	12	57	54	53
Vendredi-Dimanche	9	43	46	31

Heure				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
00h00-00h59	1	5	1	81
01h00-01h59	1	5	2	65
02h00-02h59	0	0	2	0
03h00-03h59	0	0	2	0
04h00-04h59	0	0	1	0
05h00-05h59	0	0	1	0
06h00-06h59	0	0	1	0
07h00-07h59	0	0	2	0
08h00-08h59	0	0	5	0
09h00-09h59	1	5	4	42
10h00-10h59	2	10	5	72
11h00-11h59	0	0	6	0
12h00-12h59	2	10	7	56
13h00-13h59	1	5	7	22
14h00-14h59	1	5	7	22
15h00-15h59	3	14	8	77
16h00-16h59	1	5	9	14
17h00-17h59	5	24	6	99
18h00-18h59	2	10	6	64
19h00-19h59	0	0	5	0
20h00-20h59	0	0	4	0
21h00-21h59	0	0	4	0
22h00-22h59	1	5	3	53
23h00-23h59	0	0	3	0
99	0	0	2	0
Pointe_AM: 07h00-08h59	0	0	7	0
Jour 09h00-14h59	7	33	35	36
Pointe_PM: 15h00-17h59	9	43	23	97
Soir 18h00-22h59	3	14	20	18
Nuit 00h00-06h59	2	10	13	22

Années				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
1997	6	29	20	77
1998	9	43	20	99
1999	6	29	20	77

Nombre de véhicules				
État	Site		Pop	Site>Pop
	Nb	%	(%)	
1 véhicule	1	5	27	0
2 véhicules	20	95	69	100
3 véhicules et plus	0	0	4	0

PHOTOS – 1995



Direction ouest.



Direction est.



Direction sud.



De l'arrêt, vers la gauche.



De l'arrêt, tout droit.



De l'arrêt, vers la droite.

PHOTOS – 2000 (après l'installation des feux de circulation)



Direction est



Direction sud



Accès du restaurant



Camion à l'intersection

CHAPITRE 7

Établissement des priorités

Chris Baguley et Goff Jacobs

CHAPITRE 7

Établissement des priorités

	Page
7.1 INTRODUCTION	268
7.2 PROGRAMME DE REDUCTION D'ACCIDENTS	269
7.3 EVALUATION ECONOMIQUE	269
→ 7.3.1 Paramètres	269
→ 7.3.2 Critères d'évaluation économique	273
Taux de rentabilité immédiate (TRIM)	273
Valeur actualisée nette (VAN)	274
Valeur actualisée nette/valeur actualisée des coûts (VAN/VAC)	276
Programmation linéaire en nombres entiers (PLINE)	277
Ratio marginal avantages/coûts (RMAC)	278
Taux de rentabilité interne (TRI)	278
7.4 AUTRES FACTEURS A CONSIDERER	279
7.5 CONCLUSION	280
REFERENCES	281
ANNEXE 7-1 TABLES DE FACTEURS D'ACTUALISATION	283

LISTE DES FIGURES

Figure 7-1	Exemple – Utilitaire de calcul «Étude économique»	277
Figure 7-2	Effet du taux d'actualisation sur les valeurs de la VAN (Exemple théorique)	278

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 7-1	Pourcentages de réduction d'accidents selon le type de traitement (Royaume-Uni)	271
Tableau 7-2	Exemple – Coût moyen des accidents de la route (Grande-Bretagne, 2001)	272
Tableau 7-3	Exemple – Coûts et avantages à un site traité	275
Tableau 7-4	Exemple – Projets classés par VAN/VAC	276
Tableau 7-5	Exemple – VAN/VAC	276
Tableau 7-6	Sommaire – Utilisation des critères de décision	279
Tableau 7-A1	Facteurs d'actualisation	284
Tableau 7-A2	Facteurs d'actualisation cumulatifs	285

7.1 INTRODUCTION

Les deux chapitres précédents ont décrit respectivement comment identifier les déficiences de sécurité d'un réseau routier et comment y effectuer un diagnostic de sécurité. Il a été expliqué que l'identification peut s'appuyer sur des méthodes pro-actives ou réactives et que les interventions peuvent être ciblées au niveau de points noirs, d'itinéraires, de parties de réseaux ou d'actions de masse (*chapitre 5*).

Il s'agit ensuite d'établir un système permettant de déterminer l'ordre de priorité de ces actions. À un premier niveau, il faut définir l'importance relative des actions pro-actives et réactives et décider des parts de budgets qui seront allouées à chaque catégorie d'intervention réactive (points noirs et autres).

À un second niveau, il faut déterminer, à l'intérieur de chacune de ces catégories d'actions, quels sites devraient faire l'objet d'une étude détaillée en priorité. Il faut donc procéder à un classement préliminaire des sites en fonction de leur potentiel d'amélioration pouvant découler d'interventions au niveau de l'infrastructure. Ces sites seront analysés en premier lieu.

Le troisième niveau d'établissement des priorités se situe aussi à l'intérieur de chacune des catégories d'actions, mais il suppose que les meilleures mesures envisageables ont été déterminées à chacun des sites considérés. Il peut ainsi s'agir de plusieurs points noirs indépendants, d'un groupe de sites pour lesquels on envisage une action de masse ou encore de plusieurs routes ou corridors pouvant faire l'objet d'une intervention. À ce troisième niveau, les priorités sont établies principalement sur la base d'une évaluation économique des impacts anticipés de chaque projet.

Le présent chapitre procède à la description de méthodes d'établissement de priorités qui se basent sur des évaluations coûts-avantages et traite en outre des principaux problèmes liés à l'utilisation de ces méthodes pour les projets d'amélioration de l'infrastructure routière. Selon cette approche, l'évaluation des priorités et le classement des projets s'effectuent donc sur la base de leurs coûts et avantages prévus. S'il est en général facile d'estimer les coûts de construction et d'entretien, il en est autrement de l'estimation des avantages qui découlent principalement de réductions d'accidents attendues.

L'utilité des évaluations économiques est évidente lorsqu'un ensemble de projets est préparé assez longtemps avant leur mise en œuvre. Des décisions doivent en effet être prises au niveau national ou régional relativement à la répartition des enveloppes budgétaires entre les travaux d'amélioration de l'infrastructure routière et les autres initiatives de sécurité : campagnes de publicité, programmes d'éducation, etc. Les ressources financières étant forcément limitées, il faut s'assurer que le budget annuel alloué au volet génie routier soit investi de façon judicieuse.

On pourrait alléguer que pour effectuer cette allocation de ressources, l'ingénieur ou le planificateur doit tenir compte non seulement des réductions attendues d'accidents, mais aussi de certains autres critères qui sont d'ordre politique, social ou environnemental : demandes de la population, acceptation par les contribuables, besoins des usagers (sans oublier les piétons et cyclistes), pertes d'agrément, consommation d'essence, pollution par les émanations des véhicules et par le bruit, etc. L'établissement des priorités peut donc devenir une tâche relativement complexe et des méthodes d'analyse multi-critères ont été mises au point pour tenir compte de cette réalité. Cependant, l'ingénieur amorcera généralement son évaluation sur la base de critères économiques, plus objectifs, pour être en mesure de comparer les diverses actions envisagées. Le présent chapitre traitera donc de l'évaluation économique des projets, mais sans perdre de vue l'idée qu'à l'occasion, certains autres impératifs peuvent se révéler plus importants que les arguments financiers.

Une fois les priorités établies, les décisions relatives à leur mise en œuvre dépendent nécessairement des budgets disponibles et de l'objectif principal de réduction d'accidents (*chapitre 2*). En d'autres termes, pour que l'objectif de réduction d'accidents soit atteint, voire dépassé, il doit s'accompagner d'un budget d'investissement approprié.

Idéalement, un programme de réduction d'accidents devrait comporter les étapes suivantes :

7.2 PROGRAMME DE RÉDUCTION D'ACCIDENTS

1. **détermination des mesures** susceptibles de prévenir ou de réduire les types d'accidents dominants, en utilisant les méthodes décrites au **chapitre 6**;
2. **évaluation des effets secondaires**. Vérifier avec attention si les mesures considérées peuvent avoir un impact négatif sur d'autres types d'accidents ou des effets inacceptables pour la circulation ou l'environnement;
3. **évaluation des priorités – premier et deuxième niveaux** (c.-à-d. évaluations non économiques tel que discuté ci-dessus);
4. **évaluation économique des coûts et avantages** liés aux projets identifiés au point 3;
5. **sélection des mesures les plus avantageuses**;
6. **organisation d'audiences publiques** afin de s'assurer de l'assentiment de la collectivité et des usagers de la route;
7. **préparation d'une liste de projets prioritaires** et développement de plans d'interventions.

Avant de pouvoir établir la liste des priorités, il faut donc avoir déjà choisi un ensemble optimal de mesures pour chaque site.

Comme nous l'avons déjà mentionné, d'autres facteurs peuvent affecter la mise en œuvre des mesures retenues et nécessiter un réordonnement de la liste originale de priorités. Ainsi par exemple, si des travaux majeurs sont déjà prévus à une intersection dans un horizon à court terme, il vaudra sans doute mieux retarder la mise en place des mesures de sécurité ou les intégrer aux travaux déjà prévus.

7.3 ÉVALUATION ÉCONOMIQUE

Cette section décrit les différents paramètres qui sont requis pour effectuer des études économiques ainsi que les principaux critères de décisions pouvant servir à ces études.

7.3.1 PARAMÈTRES

Il est essentiel d'effectuer des évaluations économiques des mesures de correction envisagées, afin de s'assurer que les avantages attendus soient supérieurs aux coûts de construction et d'entretien. Il faut à cette fin, obtenir les informations suivantes pour chacun des projets considérés :

1. coût initial (ingénierie et capital);
2. coûts d'entretien et d'exploitation annuels;
3. valeur résiduelle (si applicable);
4. durée de vie des mesures;
5. estimation des modifications d'accidents (tenant compte de tendances générales telles les augmentations attendues de la circulation et des accidents);
6. estimation des effets secondaires (p. ex. augmentation de la consommation d'essence);
7. valeurs monétaires acceptées des différentes catégories d'accidents;
8. taux d'actualisation.

Chacun de ces points fait l'objet d'une brève discussion dans les paragraphes suivants.

Coût initial (ingénierie et capital)

Il s'agit tout simplement des coûts de conception et d'implantation des mesures correctives. Si leur mise en œuvre doit s'étendre sur plus d'un exercice financier, il faut effectuer une ventilation annuelle des investissements.

Coûts d'entretien et d'exploitation annuels

Il faut également estimer les coûts d'entretiens prévus si la nature des mesures envisagées l'exige. Une simple modification de bordure de route par exemple, ne devrait pas nécessiter d'entretien, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour un carrefour giratoire (surtout si son îlot central est paysagé) et ne l'est sûrement pas pour des feux de circulation.

Valeur résiduelle

Certaines mesures peuvent avoir une valeur résiduelle si elles sont enlevées. Par exemple, une intersection peut être équipée de feux de circulation pendant un certain temps, jusqu'à ce qu'une route de déviation soit construite. La diminution de circulation qui s'ensuit peut alors justifier l'enlèvement des feux. S'ils peuvent être utilisés ailleurs, la valeur résiduelle doit alors être prise en compte. Cependant, dans la plupart des cas, cette valeur est négligeable.

Durée de vie

Il y a également lieu de tenir compte, dans l'évaluation économique, de la durée utile de l'installation, c.-à-d. jusqu'à ce qu'elle doive faire l'objet de réparations majeures ou d'un remplacement.

Estimation des modifications d'accidents

Dans le cas d'interventions visant à améliorer la sécurité de l'infrastructure routière, les bénéfices s'expriment généralement sous forme d'économies associées à des réductions d'accidents qui se répètent durant plusieurs années. La difficulté, bien sûr, provient du fait que les accidents, de par leur nature même, ne peuvent pas être prédits avec certitude. Les estimations de réductions d'accidents sont donc nécessairement établies à partir d'expériences passées. Pour les ingénieurs qui sont appelés à effectuer ce type d'évaluation économique, il est des plus utiles d'avoir accès à une base de données nationale décrivant l'efficacité de différents types d'actions de sécurité mises en œuvre dans le passé. La base de données MOLASSES (*Monitoring of Local Authority Safety Schemes*), développée au Royaume-Uni, est un exemple. Le tableau 7-1 montre les résultats obtenus pour certaines des mesures les plus courantes (Mackie, 1997). Il convient cependant de noter que chaque pays devrait établir son propre système similaire car les réductions d'accidents ne sont pas nécessairement les mêmes dans tous les pays.

Dans les cas où il existe peu ou pas de données pouvant servir à estimer l'efficacité d'une certaine mesure, on peut supposer, de façon conservatrice, une réduction moyenne de 25 à 33 % du nombre total des accidents. Dans les cas où les coûts et avantages s'étendent sur plus d'une année, les valeurs doivent être actualisées à leur « valeur présente », en utilisant le **taux d'actualisation** normalement sélectionné pour les projets routiers et les autres types de projets du secteur public.

Estimation des effets secondaires éventuels

Certaines mesures auront inévitablement un impact négatif sur la mobilité : fermeture de route forçant les automobilistes à prendre un chemin alternatif, mesures de modération de vitesse pouvant allonger la durée des déplacements et augmenter la consommation d'essence, etc. Ces coûts additionnels doivent être calculés et déduits des avantages attribués aux mesures en question.

Tableau 7-1 Pourcentages de réduction d'accidents selon le type de traitement (Royaume-Uni)

TRAITEMENT	NOMBRE DE SITES	POURCENTAGE DE RÉDUCTION D'ACCIDENTS	
		« TOUS »	« CIBLE »
Visibilité d'une intersection avec arrêt	11	73	73
Nouveau mini carrefour giratoire	6	71	81
Passage piétonnier antidérapant	7	71	33
Géométrie - Intersection avec arrêt	14	69	76
Adhérence de surface (lien ou route)	13	68	53
Refuges piétonniers	17	68	71
Voies de virage à droite ^a - Intersection avec «cédez»	22	68	51
Signalisation - Intersection avec « cédez »	7	68	84
Signalisation de lien ou route	12	65	63
Bordure de route en courbe	21	61	88
Visibilité en courbe	15	58	66
Resurfacement de lien ou route	16	57	72
Signalisation en courbe	14	57	70
Barrière piétonnière	6	54	100
Éclairage de lien	6	53	56
Feux de circulation, nouvelle phase piétons	5	53	100
Nouvelle traverse pour piétons	25	48	58
Nouvelle intersection avec feux de circulation	11	38	100
Marquage de la chaussée (lien)	20	29	64
Signalisation et marquage de lien ou route	21	27	94
TOTAL	269	53	73

Note : « Tous » : tous les accidents avec dommages corporels survenus aux sites traités.

« Cibles » : uniquement les accidents avec dommages corporels que les mesures visaient à réduire.

^a Circulation à gauche

Source: Mackie, 1997

Valeur monétaire des différentes catégories d'accidents

Pour estimer les avantages économiques résultant d'une amélioration du niveau de sécurité de l'infrastructure routière, il faut attribuer aux accidents une valeur monétaire qui est ensuite appliquée à la diminution prévue du nombre d'accidents. Les valeurs utilisées ne doivent pas être calculées sur la base de chaque projet, mais doivent plutôt être établies au niveau national par des économistes du domaine des transports; elles doivent être mises à jour sur une base annuelle.

Les coûts doivent être déterminés en fonction du degré de gravité des accidents : mortels, graves, légers, sans victime. Ces divers degrés de gravité doivent être définis avec soin. Dans la plupart des pays, on utilise les définitions suivantes :

- mortel : un accident dans lequel une victime meurt dans les 30 jours de l'accident;
- grave : un accident n'entraînant aucun décès mais dans lequel au moins une personne doit être hospitalisée ou est victime de blessures graves telles une fracture, des blessures internes, des lacérations graves, etc.;
- léger : un accident n'entraînant ni décès ni blessures graves mais dans lequel au moins une personne est victime de blessures mineures telles une coupure, une entorse ou des contusions;
- sans victime : un accident dans lequel il n'y a aucune victime mais qui entraîne des dommages matériels (véhicules ou autres).

Les coûts sont toujours basés sur des valeurs moyennes et, dans certains pays, ils sont établis pour différentes catégories de routes (urbaines, rurales, autoroutes). À titre d'illustration, le tableau 7-2 présente les coûts calculés en Grande-Bretagne, en tenant compte de la catégorie de route et de la gravité des accidents (2001). On trouvera d'autres exemples de coûts pour plusieurs autres pays industrialisés dans le rapport *Cost 313* de la CE (Alfaro *et al.*, 1994). Le tableau montre que les coûts augmentent en passant de routes en agglomération à celles en milieu rural et aux autoroutes, reflétant l'effet des vitesses élevées sur la gravité des accidents. On peut voir également un décuplement des coûts en passant d'un degré de gravité à l'autre, le coût d'un accident léger étant environ dix fois celui d'un accident sans victime, celui d'un accident grave, environ dix fois celui d'un accident léger et celui d'un accident mortel, presque dix fois celui d'un accident grave.

Tableau 7-2 Exemple – Coût moyen des accidents de la route (Grande-Bretagne, 2001)

TYPE D'ACCIDENT	COÛT PAR VICTIME UK £ (US \$)	COÛT PAR ACCIDENT UK £ (US \$)			TOUTES LES ROUTES
	TOUTES LES ROUTES	ROUTES URBAINES	ROUTES RURALES	AUTOROUTES	
MORTELS	1 194 240 (1 731 648)	1 287 160 (1 866 382)	1 421 660 (2 061 407)	1 439 900 (2 087 855)	1 365 310 (1 979 700)
GRAVE	134 190 (194 576)	151 910 (220 270)	176 920 (256 534)	186 110 (269 860)	160 850 (233 233)
LÉGER	10 350 (15 008)	15 130 (21 939)	18 150 (26 318)	21 350 (30 958)	16 030 (23 244)
TOUTES VICTIMES	38 050 (55 173)	42 380 (61 451)	91 340 (132 443)	68 370 (99 137)	54 710 (79 330)
SANS VICTIMES	– –	1 330 (1 929)	1 970 (2 857)	1 900 (2 755)	1 420 (2 059)

Source : Department for transport, 2002

Pour l'établissement des priorités d'actions visant à réduire la fréquence d'accidents, il est normalement suffisant d'utiliser un seul coût moyen pour tous les accidents entraînant des blessures, car il serait de toute façon très difficile de prévoir les degrés de gravité des accidents qui pourraient être prévenus.

De nombreuses études ont cherché à établir la meilleure méthode de détermination du coût des accidents (Hills et Jones-Lee, 1983; Alfaro *et al.*, 1994; Jacobs, 1995). On s'accorde aujourd'hui sur l'emploi de deux méthodes seulement, soit celle la « disposition à payer » et celle du « capital humain ». De façon générale, la méthode de la disposition à payer est utilisée dans la plupart des pays industrialisés tandis que la méthode du capital humain est jugée acceptable dans les pays en voie de développement, dans la mesure où elle prend en compte la douleur, la peine et les souffrances qui résultent des accidents de la route.

En Australie, Andreassen (2001) a procédé au calcul du coût des accidents selon leur type (p. ex. collision avec piéton, avec objet fixe en courbe, etc. – *chapitre 5, tableau 5-4*). Ce résultat peut être utilisé pour évaluer les avantages d'interventions de sécurité, si l'on est en mesure d'estimer le nombre d'accidents de chaque type qui sera influencé par la mesure (accidents cibles).

Il s'agit d'une méthode susceptible d'améliorer la précision du résultat de l'étude économique, mais qui peut être difficile d'application dans plusieurs pays, du fait de l'incertitude associée aux estimations de changements d'accidents. Si tel est le cas, il faut alors utiliser les coûts moyens des accidents dans les évaluations économiques de projets.

Finalement, s'il n'existe pas d'étude reconnue sur le coût des accidents dans un pays, l'on devra alors avoir recours à une évaluation très approximative. On pourrait ainsi calculer le coût moyen d'un accident avec blessures en divisant le coût total des accidents dans un pays - qui représente entre 1 ou 2 % du Produit national brut (PNB) - par le nombre total d'accidents enregistrés (*chapitre 1*).

Taux d'actualisation

Dans toute évaluation économique de projet, il faut choisir une année de base qui sera utilisée pour évaluer tous les coûts et avantages futurs d'un projet. Comme les montants perçus dans le futur ont une « valeur moindre » que s'ils l'avaient été pendant l'année de base, il faut en effet les réactualiser à leur « valeur présente » et ce, pour toute la durée de vie du projet. Le taux d'actualisation à retenir est celui qui est utilisé à l'échelle nationale par les économistes du gouvernement et n'a pas à être calculé par les ingénieurs en sécurité routière. On trouvera d'autres détails sur les méthodes d'actualisation à la *section 7.3.2*.

7.3.2 CRITÈRES D'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE

Tel que décrit en introduction, la méthode de base pour classer les divers types de projets routiers consiste à effectuer une analyse coûts-avantages, c'est à dire à comparer les avantages de chaque projet (en termes d'accidents qu'il permettra de prévenir) par rapport à ses coûts (construction, entretien, autres). La liste de priorités des projets peut alors être établie en fonction de leur rendement économique. Or répétons-le, il est souvent difficile d'estimer la réduction du nombre d'accidents pouvant résulter d'interventions de sécurité car cette donnée ne peut être basée que sur les résultats de travaux similaires effectués dans le passé (Turner & Hall, 1994; Kulmala, 1994; Mackie, 1997). Comme la plupart des pays n'ont pas de base de données précise et centralisée sur les accidents n'ayant causé que des dommages matériels, le calcul des avantages d'un projet de sécurité s'effectue généralement en ne considérant que les traumatismes routiers évités. Par ailleurs, s'il n'existe pas de données sur les effets probables d'une mesure envisagée, la démarche recommandée consiste à commencer par les interventions les moins coûteuses, car ce sont sans doute celles qui peuvent offrir les meilleurs avantages globaux. Si la mesure la moins chère se révèle en pratique peu efficace, on optera alors pour la deuxième mesure la moins coûteuse et ainsi de suite.

Dans la mesure du possible, on utilisera des matériaux temporaires pour effectuer des tests initiaux. Des dalles de béton préfabriquées pourraient par exemple être reliées et fixées à la surface de la chaussée, pour déterminer si la taille et la disposition d'un îlot de séparation est adéquat avant de procéder à une installation permanente plus coûteuse.

Il y a plusieurs façons de réaliser une évaluation économique ; pour les projets routiers, les critères les plus utilisés sont :

- taux de rentabilité immédiate (TRIM);
- valeur actualisée nette (VAN);
- valeur actualisée nette / valeur actualisée des coûts (VAN/VAC);
- ratio marginal avantages/coûts (RMAC);
- taux de rentabilité interne (TRI).

Taux de rentabilité immédiate (TRIM)

Il s'agit simplement de la valeur monétaire nette des avantages et inconvénients anticipés durant la première année suivant les travaux, exprimée en pourcentage du coût total investi.

$$\text{TRIM (\%)} = \frac{\text{Avantages (1}^{\text{ère}} \text{ année)} \times 100}{\text{Coûts initiaux}} \quad [\text{Eq. 7-1}]$$

où :

Avantages = économies relatives aux accidents, ± changements relatifs aux coûts d'entretien ± changements relatifs aux coûts de déplacements (le tout exprimé en valeurs monétaires)

Note : les montants des deux derniers termes peuvent être suffisamment faibles, surtout pour des travaux mineurs, pour qu'on puisse les ignorer. On obtient dans un tel cas :

Avantages = valeur des économies relatives aux accidents

Il s'agit d'un critère d'évaluation qui n'est pas très rigoureux car il ne tient pas compte des avantages ou inconvénients après la première année, mais il a l'avantage de sa simplicité. De plus, comme les travaux d'amélioration de la sécurité routière ont souvent des taux de rentabilité immédiate qui excèdent 100 %, il n'est pas toujours nécessaire d'utiliser des critères de décision plus complexes. La méthode donne généralement des valeurs élevées pour des travaux qui sont peu coûteux, même s'ils ont des effets limités en termes de réductions d'accidents.

Exemple – Taux de rentabilité immédiat (TRIM)

Utilisons, à titre d'exemple, la ventilation des coûts d'accidents indiquée au tableau 7-2. Le coût par accident est normalement plus élevé que le coût par blessure parce qu'en moyenne, il y a plus d'un blessé par accident. Le coût moyen par accident avec blessures est estimé, pour 2001, à 79 330 \$.

Prenons le cas d'une intersection où se sont produits 12 accidents avec blessés en trois ans, 9 de ces accidents étant des collisions à angle droit attribuables à une omission d'arrêt d'un conducteur, ce qui constitue le groupe d'accidents cibles. Supposons que l'expérience démontre que la construction d'un carrefour giratoire est susceptible d'éliminer les deux tiers de ces collisions cibles. Si la valeur limite du TRIM a été fixé à 50 % pour l'année en question, alors le budget maximal pouvant être alloué à ces travaux se calcule comme suit :

$$\begin{aligned}\text{pourcentage du TRIM} &= \frac{\text{Accidents épargnés 1}^{\text{ère}} \text{ années} \times 100}{\text{Coût des travaux}} \\ 50 &= \frac{\{(2/3) \times (9/3) \times 79\,330\} \times 100}{\text{Coût des travaux}} \\ \text{coût des travaux} &= \frac{158\,660 \times 100}{50} \\ &= 317\,320 \$\end{aligned}$$

En d'autres termes, le coût des travaux ne doit pas dépasser 317 320 \$ pour obtenir le taux de rendement visé de 50 %.

Dans cet exemple, on a utilisé un taux de rentabilité immédiate prédéterminé et calculé le coût maximum des travaux. Si les travaux ont effectivement coûté 200 000 \$, alors le taux de rentabilité immédiate serait supérieur à 50 % (79 % dans ce cas). On pourrait donc utiliser ce critère pour classer divers types de travaux envisagés en fonction de leur rentabilité immédiate.

On peut aussi utiliser le TRIM pour déterminer le moment où des travaux devraient être effectués, en comparant leur taux de rendement immédiat avec le taux d'actualisation. En théorie, les travaux pourraient être effectués si leur taux de rentabilité immédiate est supérieur au taux d'actualisation (à la condition bien sûr de tenir compte aussi du taux de rentabilité des autres projets). Si le TRIM est inférieur au taux d'actualisation, le projet devrait à tout le moins être remis à une date ultérieure.

Une évaluation plus précise sera nécessaire pour les interventions où le nombre d'accidents et les débits de circulation sont appelés à changer de façon significative durant la durée de vie d'un projet (voir ci-dessous). Ainsi par exemple, il se peut qu'il ne soit pas justifié de réaliser des travaux dont le taux de rentabilité immédiate est de 80 % si la construction prochaine d'une nouvelle route entraînera la fermeture du tronçon, limitant ainsi les bénéfices à la première année.

Valeur actualisée nette (VAN)

Ce critère d'évaluation exprime, sous forme d'un seul montant, la différence entre les coûts et les avantages actualisés d'un projet, même s'ils s'échelonnent sur plusieurs années.

Il serait erroné de croire qu'on puisse obtenir un estimé fiable des avantages d'un projet en multipliant le montant des avantages calculés pour une année (voir TRIM) par la durée de vie du projet. Comme on l'a vu, les avantages futurs doivent être actualisés. De plus, des changements peuvent survenir pendant la durée de vie de l'ouvrage et modifier la valeur des avantages futurs.

Supposons, pour simplifier les calculs, que le taux utilisé par l'État pour les travaux routiers est de 10 % (un peu élevé, admettons-le, pour la plupart des pays dans la conjoncture économique actuelle). Ce taux signifie que 100 \$ d'avantages obtenus cette année vaudra 10 % de moins dans un an, encore 10 % de moins dans deux ans, et ainsi de suite. Ces valeurs doivent être additionnées sur toute la durée de vie de l'ouvrage pour obtenir la valeur actualisée des avantages (VAA) .

L'équation 7-2 permet de calculer les facteurs d'actualisation et les valeurs résultantes sont indiquées aux **tables 7-A1** (facteurs d'actualisation) et **tables 7-A2** (facteurs d'actualisation cumulatifs) de l'annexe 7-1.

$$\text{facteur d'actualisation} = \frac{1}{(1+r)^n} \quad [\text{Eq. 7-2}]$$

où :

r = taux d'actualisation
n = nombre d'années

Pour obtenir la valeur économique globale d'un projet, c'est-à-dire sa valeur actualisée nette (VAN), il suffit ensuite de soustraire des avantages actualisés la valeur actualisée de ses coûts (VAC)¹:

$$\text{VAN} = \text{VAA} - \text{VAC} \quad [\text{Eq. 7-3}]$$

La réalisation du projet n'est souhaitable que si sa VAN est positive.

Exemple – Valeur actualisée nette (VAN)

Supposons que les coûts de réaménagement d'une intersection soient de 200 000 \$, répartis également sur deux ans et que les coûts d'entretien annuels soient de 8000 \$ pour les cinq années suivantes (durée de vie de l'ouvrage). Le taux d'actualisation utilisé est de 10 %.

Les avantages, on l'a vu, sont toujours difficiles à évaluer et il faudra parfois se fonder sur le jugement éclairé des analystes. Supposons pour cet exemple, que l'expérience démontre que dans des circonstances similaires, dix accidents avec blessures pourront être évités au cours des deux premières années (5 accidents par an), puis trois accidents par année pour le reste de la durée de l'ouvrage, du fait de changements dans la circulation. Si, comme le montre le tableau 7-2, le coût moyen d'un accident avec blessures est de 79 330 \$, le montant total d'économies s'élèverait à 396 650 \$ par an pour les deux premières années et à 237 990 \$ par an pour les trois années suivantes. La valeur actualisée nette sera donc de 852 002 \$, tel qu'indiqué au tableau 7-3.

Tableau 7-3 Exemple – Coûts et avantages à un site traité

ANNÉE	FACTEUR D'ACTUALISATION	COÛT (\$)	BÉNÉFICE (\$)	COÛT NET (-) OU BÉNÉFICE NET (+) (\$)	VALEUR ACTUALISÉE NETTE COÛT (-) OU BÉNÉFICE (+) (\$)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (4) - (3)	(6) = (5) X (2)
0	1,000	100 000		-100 000	-100 000
1	0,909	100 000		-100 000	-90 909
Installation complète					
2	0,826	8 000	396 650	+388 650	+ 321 198
3	0,751	8 000	396 650	+388 650	+ 291 998
4	0,683	8 000	237 990	+229 990	+ 157 086
5	0,621	8 000	237 990	+229 990	+ 142 806
6	0,564	8 000	237 990	+229 990	+ 129 823
Valeur actualisée nette (VAN) :					+ 852 002

En d'autres termes, les avantages de ce projet dépassent ses coûts par plus de 850 000 \$. Il s'agit donc d'un projet qui est très certainement justifié en termes économiques.

Si les avantages prévus avaient été les mêmes pendant toute la durée de vie du réaménagement, le calcul de la VAN aurait été simplifié car il aurait suffi d'utiliser le facteur d'actualisation cumulatif indiqué à la **table 7-A2**. Ainsi, pour la répétition d'un même bénéfice pendant une période de 5 ans et un taux d'actualisation de 10 %, le facteur d'actualisation cumulatif est de 3,79. En supposant un bénéfice annuel de 50 000 \$, on obtient donc :

$$50\,000 \$ \times 3,79 = 189\,500 \$$$

Le calcul de la VAN s'effectue avec l'utilitaire de calcul « **Étude économique** »; voir **Exemple-VAN**.

¹ Cette somme devra aussi être actualisée si les coûts sont répartis sur plus d'une année.

Pour déterminer le niveau de priorité de plusieurs projets, à l'aide de la VAN, on considère que :

- du point de vue économique, les travaux pour lesquels la VAN est positive sont valables;
- pour un site en particulier, l'alternative la plus valable est celle ayant la VAN la plus élevée.

La VAN ne devrait cependant pas être le seul critère d'évaluation utilisé car elle tend à privilégier les projets ayant un plus grand coût.

Valeur actualisée nette/valeur actualisée des coûts (VAN/VAC)

Une alternative utile au critère de valeur actualisée nette (VAN) est le ratio de la valeur actualisée nette (VAN) sur la valeur actualisée des coûts (VAC). En divisant la VAN (calculée comme ci-dessus) par la somme de tous les coûts actualisés, on élimine en effet le biais de la VAN en faveur des projets plus coûteux. Les projets peuvent alors être classés en fonction de leur rapport VAN/VAC.

Exemple VAN/VAC

Le tableau 7-4 présente un exemple d'établissement de priorités de projets à l'aide du ratio VAN/VAC calculé pour une période de 5 ans.

Dans cet exemple, les résultats obtenus avec le ratio VAN/VAC se rapprochent de ceux du TRIM mais diffèrent plus substantiellement de la VAN.

Dans cette liste, on peut tirer une ligne correspondant à un budget donné. Supposons que le budget soit limité à 500 000 \$. Pour réaliser les dix projets, il faudrait 683 700 \$. La ligne indiquant la limite du budget marque le « **taux de coupure** ».

Le calcul du ratio VAN/VAC peut aussi s'effectuer à l'aide de l'utilitaire de calcul « *Étude économique* ». Un exemple de résultats est présenté à la figure 7-1 (*Exemple – VAN/VAC*).

Table 7-4 Exemple – Projets classés par VAN/VAC

PROJET	TRIM %	VAN (5 ANS) \$	VAC (5 ANS) \$	VAN/VAC
1	550	772 000	38 600	20,0
2	520	957 000	66 000	14,5
3	320	346 400	34 000	10,2
4	200	224 300	41 500	5,4
5	220	692 800	141 400	4,9
6	110	342 200	90 000	3,8
7	95	162 000	54 000	3,0
Coûts actualisés pour les 7 premiers projets 465 500 \$ (taux de coupure = 3,0)				
8	100	190 400	68 000	2,8
9	68	122 000	64 200	1,9
10	85	129 000	86 000	1,5
Coûts actualisés pour tous les projets 683 700 \$				

Deux options de projets peuvent parfois être envisagées à un même site, pour y améliorer la sécurité (par exemple un carrefour giratoire ou des feux de circulation). Pour déterminer l'option à privilégier, on peut utiliser le ratio marginal VAN/VAC. L'utilisation de la méthode est illustrée à l'aide d'un exemple.

Exemple

Supposons que l'option A corresponde au projet 7 du tableau 7-4 et que l'option B est tel qu'indiqué au tableau 7-5. Le calcul du ratio marginal VAN/VAC est effectué au bas du tableau 7-5. La valeur obtenue de 1,1 peut être comparée au taux de coupure du tableau 7-4 qui est de 3,0. Même si la VAN du projet B est plus élevée, sa valeur marginale de 1,1 est bien en deçà du taux de coupure. En d'autres termes, peu importe le budget disponible, tout montant en excès du coût de l'option A devrait être investi à un autre endroit (et non dans le projet B plus coûteux).

Tableau 7-5 Exemple – VAN/VAC

	BÉNÉFICE \$	COÛT (VAC) \$	VAN \$
OPTION A	216 000	54 000	162 000
OPTION B	280 000	85 000	195 000

$$\frac{VAN}{VAC} = \frac{(VAN)_B - (VAN)_A}{(VAC)_B - (VAC)_A}$$

$$= \frac{195,000 - 162,000}{85,000 - 54,000} = 1,1$$

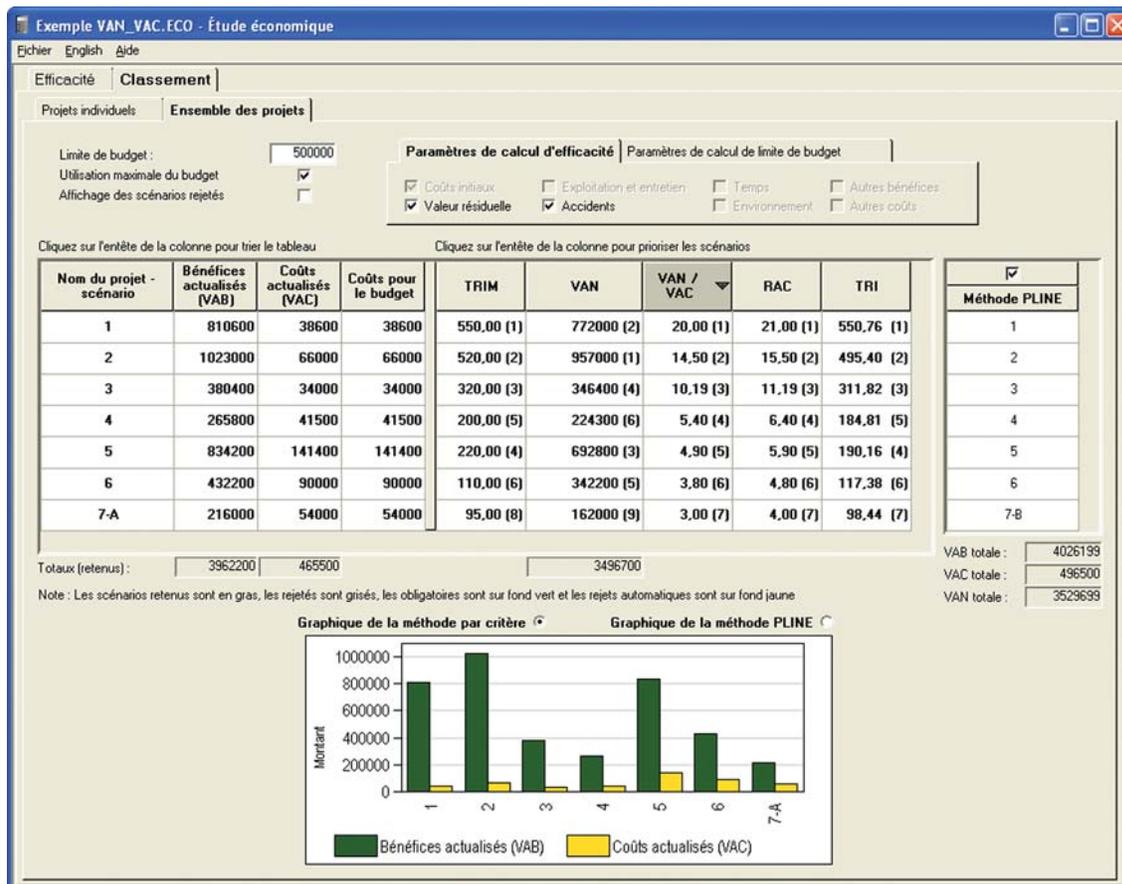
Programmation linéaire en nombres entiers (PLINE)

Ce critère permet de déterminer la combinaison de projets permettant de maximiser les bénéfices totaux actualisés en fonction d'un budget fixe. Ce résultat est obtenu par programmation en effectuant une série d'itérations sur les différentes combinaisons possibles de projets (FHWA, 1981).

Un tel programme est inclus à l'utilitaire de calcul « Évaluation économique ». Ce critère y est appelé « PLINE » (Programmation Linéaire par Nombres Entiers).

[ÉTUDE ÉCONOMIQUE ]

Figure 7-1 Exemple – Utilitaire de calcul « Étude économique »



Ratio marginal avantages/coûts (RMAC)

Tel que son nom l'indique, le ratio avantages/coûts s'obtient en divisant les avantages actualisés du projet par ses coûts actualisés :

[Eq. 7-4]

$$\text{RAC} = \text{VAA}/\text{VAC}$$

Le ratio marginal avantages/coûts résulte quant à lui d'une comparaison deux à deux toutes les options de projets ayant un RAC supérieur à 1, dans le but de déterminer l'avantage marginal résultant d'une augmentation des coûts. Il faut donc, après avoir éliminé tous les projets dont le RAC est inférieur à 1, classer ceux qui ont été conservés en ordre croissant de coûts. Le ratio marginal avantages/coûts est alors calculé en commençant par les deux options les moins coûteuses. Le ratio se calcule de la façon suivante :

$$\text{RMAC}_{x/x+1,n,i} = \frac{\text{VAA}_{x+1,n,i} - \text{VAA}_{x,n,i}}{\text{VAC}_{x+1,n,i} - \text{VAC}_{x,n,i}} \quad [\text{Eq. 7-5}]$$

où :

x et x + 1 : les deux options les moins coûteuses

n : durée de vie du projet

i : taux d'actualisation

x/x + 1 : option x comparée à option x + 1

Si le RMAC est supérieur à 1, on choisit l'option x + 1, puisque l'avantage marginal est supérieur au coût marginal. A l'inverse, si le RMAC est inférieur à 1, on choisit l'option x. On utilise alors l'option conservée et on poursuit ces comparaisons deux à deux, jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule option, qui est la plus rentable en termes économiques.

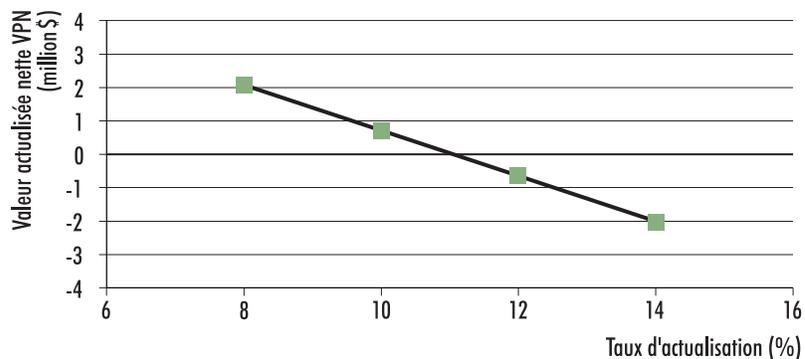
Ogden (1996) considère cependant que la méthode du RAC est plus difficile à utiliser que la méthode de la VAN, et peut donner des résultats plus ambigus, sinon inexacts, selon la façon dont sont définis les bénéfices et les coûts. Le critère du VAN/VAC apparaît donc préférable.

Taux de rentabilité interne (TRI)

Un autre critère important pouvant être utilisé pour évaluer les coûts et avantages de projets routiers est le taux de rentabilité interne. Il s'agit en fait du taux d'actualisation qui rend la VAN égale à 0 (ou le RAC égal à 1,0). La figure 7-2 ci-dessous montre un exemple théorique de l'effet du taux d'actualisation sur la VAN d'un projet quelconque.

Pour des taux d'actualisation de 8 % ou 10 %, la VAN du projet est positive, tandis qu'elle est négative à 12 % ou 14 %. Elle est nulle à 11 %, ce qui représente le taux de rentabilité interne du projet (TRI). Des organismes d'aide internationale comme la Banque mondiale favorisent l'utilisation du TRI car il permet d'éviter l'utilisation de taux d'actualisation locaux qui, selon leur valeur, peuvent avoir une influence déterminante sur la VAN ou sur le rapport VAN/VAC. Même si le TRI n'est pas très utile pour classer les projets, il est décrit ici afin de compléter la vue d'ensemble du sujet.

Figure 7-2 Effet du taux d'actualisation sur les valeurs de la VAN (Exemple théorique)



Le tableau 7-6 présente un résumé des « meilleurs » critères de décision à utiliser selon les circonstances, parmi ceux qui ont été discutés dans cette section.

Tableau 7-6 Sommaire – Utilisation des critères de décision

	VAN	TRI	VAN/VAC	TRIM
VALIDITÉ ÉCONOMIQUE DU PROJET	bon	bon	bon	mauvais
PROJETS MUTUELLEMENT EXCLUSIFS	très bon	mauvais	bon ¹	mauvais
CALENDRIER DE RÉALISATION	acceptable	mauvais	mauvais	bon
ROBUSTESSE À DES CHANGEMENTS D'HYPOTHÈSES	bon	bon	très bon	mauvais
SÉLECTION DE PROJETS	mauvais	bon	très bon	mauvais
UTILISATION AVEC CONTRAINTES BUDGÉTAIRES	acceptable ²	mauvais	très bon	mauvais

¹ Analyse incrémentielle nécessaire

² Recalcul continu nécessaire

7.4 AUTRES FACTEURS À CONSIDÉRER

Il convient de faire remarquer que des facteurs externes aux considérations économiques qui ont été décrites jusqu'ici peuvent aussi influencer l'établissement des priorités et donc le choix de sites à traiter. Cependant, l'utilisation des méthodes objectives qui ont été décrites dans ce chapitre peut contribuer à éviter que des pressions d'ordre émotif dictent l'utilisation de ressources limitées, sans autre considération. Ainsi, il se peut qu'une administration routière se fasse demander, pour des raisons politiques ou autres, de traiter un site ne faisant pas partie de la liste de projets qui ont été établis comme étant prioritaires en vertu de critères économiques. Dans un tel cas, on pourra utiliser la liste obtenue pour démontrer l'importance d'affecter les ressources aux sites susceptibles de produire les meilleurs avantages, car ce sont eux qui permettront le mieux d'atteindre les objectifs de réduction d'accidents qui ont été établis dans un pays.

Il se peut aussi que des travaux majeurs aient déjà été planifiés à un site identifié comme étant prioritaire, par exemple une intersection étagée ou des feux de circulation. Si la date de réalisation de ces travaux est assez rapprochée, il vaut sans doute mieux attendre et intégrer le projet à ces travaux. Mais si la réalisation des travaux n'est pas prévue dans les deux ou trois prochaines années, des mesures à court terme (et peut-être moins coûteuses) seront sans doute justifiées.

En plus de ces facteurs, d'autres motifs peuvent aussi repousser la date de réalisation des travaux – par exemple des variations climatiques saisonnières qui empêchent la réalisation de certains types de travaux, des délais d'expropriation, etc. Il vaut toujours mieux étudier davantage de sites et préparer davantage de projets que le nombre pouvant être réalisé au cours d'un exercice financier. On sera ainsi en mesure de procéder au besoin à des réallocations budgétaires mineures.

Dans la pratique, il vaut mieux procéder en premier lieu au traitement de sites « faciles », afin d'obtenir une efficacité économique aussi rapidement que possible (*chapitre 6*). Néanmoins, les sites plus « difficiles », dont l'étude approfondie peut exiger des effectifs plus importants, sont généralement le lieu d'un grand nombre d'accidents et ils ne doivent donc pas être laissés en attente ou complètement ignorés.

7.5 CONCLUSION

Ce chapitre a expliqué comment classer des projets en fonction de leurs coûts et avantages respectifs. Tous les coûts doivent être actualisés, en fonction de l'année de base choisie et de la durée de vie du projet (une période de cinq ans est souvent utilisée pour les interventions à des sites dangereux). Parmi les divers critères économiques qui ont été décrits, l'utilisation du ratio VAN/VAC est recommandée, surtout lorsque l'objectif est d'établir des priorités entre les divers travaux envisagés.

Il faut bien comprendre que cette évaluation des sites doit s'inscrire dans un processus continu. Les sites non retenus pour des travaux immédiats, soit parce que leur VAN est faible, voire négative, soit à cause de contraintes budgétaires, doivent être réévalués plus tard, s'il y a lieu de croire que la situation a changé. Ainsi, un accroissement d'accidents à un site peut faire en sorte que des travaux d'améliorations qui n'étaient pas justifiés en termes économiques le deviennent. D'autres types de changements sont aussi à considérer, tel une augmentation de circulation.

Essentiellement, on peut dire que les sommes investies dans des améliorations peu coûteuses de l'infrastructure à des endroits avec accumulations d'accidents peuvent avoir des taux de rendement très élevés, avec des taux de rentabilité immédiate pouvant facilement dépasser les 100 %. En comparaison, d'autres types de travaux routiers – le resurfaçage ou la modification de l'alignement d'une route par exemples – ont en général des taux de rentabilité immédiate beaucoup plus faibles (un TRIM de 20 à 30 % peut être considéré assez élevé pour justifier de tels projets). C'est dire qu'il faudrait consacrer une bonne part du budget national de sécurité routière à l'amélioration de sites problématiques, de corridors routiers ou de certaines parties de réseaux spécifiques. De tels investissements sont de nature à rapporter plusieurs fois ce qu'ils ont coûté pendant la durée de vie des projets.

RÉFÉRENCES

- Andreassen, D. (1992)** *Costs for accident types and casualty classes*, Australian Road Research Board, ARR 227, Victoria, Australia, 36 p.
- Andreassen, D. (1992)** *A guide to the use of road accident cost data in project evaluation and planning*, Australian Road Research Board, ARR 226, Victoria, Australia, 16 p.
- Andreassen, D. (2001)** *Crash Costs-2001, Cost by Accident-type, Data Capture and Analysis*, Australia.
- Alfaro, J. L., Chapuis, M. et Fabre, F. (1994)** *Socio economic cost of road accidents*, Report Cost 313, Report EUR 15464 EN, Brussels: European Commission, 127 p.
- Department for Transport (2002)** *Highways economics note no. 1, 2001. Valuation of the benefits of prevention of road accidents and casualties*, London.
- FHWA (1981)** *Highway safety improvement program (HSIP)*, FHWA-TS-81-218, Federal Highway Administration, 259 p.
- Jacobs, G D. (1995, April 17-21)** *Costing road accidents in developing countries*, dans *Proceedings of Eighth REAAA Conference*, Taipei, 17 p.
- Hills, P. J., et Jones-Lee, M. W. (1983)** *The role of safety and highway investment appraisal for developing countries*, Accident Analysis and Prevention, V15, pp. 355-369.
- Hopkins, J. M. et O'reilly, D. M. (1993)** *Revaluation of the cost of road accident casualties – 1992 revision*, Research Report 378, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Kulmala, R. (1994)** *Measuring the safety effect of road measures at junctions*, Accident Analysis & Prevention, V26, N6, pp. 781-794.
- Mackie, A. (1997)** *Molasses: Monitoring of local authority safety schemes*, County Surveyor's Society/Transport Research Laboratory, United Kingdom.
- National Association of Australian State Road Authorities (1998)** *Guide to traffic engineering practice: part 4 -Road crashes*, Australia, 74 p.
- Ogden, K. W. (1996)** *Safer Roads: a Guide to road safety engineering*, Avebury Technical, 516 p.
- PACTS (2000)** (Parliamentary Advisory Council for Transport Safety). *Road Safety spending in Great Britain: Who stands to gain*, Research Briefing (RB1/00), London.
- Royal Society for the Prevention of Accidents (1992)** *Road safety engineering manual*, Birmingham, England
- Turner, D. S. et Hall, J.W. (1994)** *Severity indices for roadside features*, NCHRP Synthesis of highway practice 202, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Transport and Road Research Laboratory (1991)** *Towards safer roads in developing countries: A guide for planners and engineers*, TRRL & Overseas Development Administration, Crowthorne.

ANNEXE 7-1

Tables de facteurs d'actualisation

Table 7-A1 Facteurs d'actualisation

ANNÉE	TAUX (%)										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,952	0,943	0,935	0,926	0,917	0,909	0,901	0,893	0,885	0,877	0,870
2	0,907	0,890	0,873	0,857	0,842	0,826	0,812	0,797	0,783	0,769	0,756
3	0,864	0,840	0,816	0,794	0,772	0,751	0,731	0,712	0,693	0,675	0,658
4	0,823	0,792	0,763	0,735	0,708	0,683	0,659	0,636	0,613	0,592	0,572
5	0,784	0,747	0,713	0,681	0,650	0,621	0,593	0,567	0,543	0,519	0,497
6	0,746	0,705	0,666	0,630	0,596	0,564	0,535	0,507	0,480	0,456	0,432
7	0,711	0,665	0,623	0,583	0,547	0,513	0,482	0,452	0,425	0,400	0,376
8	0,677	0,627	0,582	0,540	0,502	0,467	0,434	0,404	0,376	0,351	0,327
9	0,645	0,592	0,544	0,500	0,460	0,424	0,391	0,361	0,333	0,308	0,284
10	0,614	0,558	0,508	0,463	0,422	0,386	0,352	0,322	0,295	0,270	0,247
11	0,585	0,527	0,475	0,429	0,388	0,350	0,317	0,287	0,261	0,237	0,215
12	0,557	0,497	0,444	0,397	0,356	0,319	0,286	0,257	0,231	0,208	0,187
13	0,530	0,469	0,415	0,368	0,326	0,290	0,258	0,229	0,204	0,182	0,163
14	0,505	0,442	0,388	0,340	0,299	0,263	0,232	0,205	0,181	0,160	0,141
15	0,481	0,417	0,362	0,315	0,275	0,239	0,209	0,183	0,160	0,140	0,123
16	0,458	0,394	0,339	0,292	0,252	0,218	0,188	0,163	0,141	0,123	0,107
17	0,436	0,371	0,317	0,270	0,231	0,198	0,170	0,146	0,125	0,108	0,093
18	0,416	0,350	0,296	0,250	0,212	0,180	0,153	0,130	0,111	0,095	0,081
19	0,396	0,331	0,277	0,232	0,194	0,164	0,138	0,116	0,098	0,083	0,070
20	0,377	0,312	0,258	0,215	0,178	0,149	0,124	0,104	0,087	0,073	0,061
21	0,359	0,294	0,242	0,199	0,164	0,135	0,112	0,093	0,077	0,064	0,053
22	0,342	0,278	0,226	0,184	0,150	0,123	0,101	0,083	0,068	0,056	0,046
23	0,326	0,262	0,211	0,170	0,138	0,112	0,091	0,074	0,060	0,049	0,040
24	0,310	0,247	0,197	0,158	0,126	0,102	0,082	0,066	0,053	0,043	0,035
25	0,295	0,233	0,184	0,146	0,116	0,092	0,074	0,059	0,047	0,038	0,030

Table 7-A2 Facteurs d'actualisation cumulatifs

ANNÉE	TAUX (%)										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,9524	0,9434	0,9346	0,926	0,917	0,909	0,901	0,893	0,885	0,877	0,870
2	1,8594	1,8334	1,8080	1,783	1,759	1,736	1,713	1,690	1,668	1,647	1,626
3	2,7232	2,6730	2,6243	2,577	2,531	2,487	2,444	2,402	2,361	2,322	2,283
4	3,5460	3,4651	3,3872	3,312	3,240	3,170	3,102	3,037	2,974	2,914	2,855
5	4,3295	4,2124	4,1002	3,993	3,890	3,791	3,696	3,605	3,517	3,443	3,352
6	5,0757	4,9173	4,7665	4,623	4,486	4,355	4,231	4,111	3,998	3,889	3,784
7	5,7864	5,5824	5,3893	5,206	5,033	4,868	4,712	4,564	4,423	4,288	4,160
8	6,4632	6,2098	5,9713	5,747	5,535	5,335	5,146	4,968	4,799	4,639	4,487
9	7,1078	6,8017	6,5152	6,247	5,995	5,759	5,537	5,328	5,132	4,946	4,772
10	7,7217	7,3601	7,0236	6,710	6,418	6,145	5,889	5,650	5,426	5,216	5,019
11	8,3064	7,8869	7,4987	7,139	6,805	6,495	6,207	5,938	5,687	5,453	5,234
12	8,8633	8,3838	7,9427	7,536	7,161	6,814	6,492	6,194	5,918	5,660	5,421
13	9,3936	8,8527	8,3577	7,904	7,487	7,103	6,750	6,424	6,122	5,842	5,583
14	9,8986	9,2950	8,7455	8,244	7,786	7,367	6,982	6,628	6,302	6,002	5,724
15	10,379	9,7122	9,1079	8,559	8,061	7,606	7,191	6,811	6,462	6,142	5,847
16	10,838	10,106	9,4470	8,851	8,313	7,824	7,379	6,974	6,604	6,265	5,954
17	11,274	10,477	9,7630	9,122	8,544	8,022	7,549	7,120	6,729	6,373	6,047
18	11,690	10,828	10,059	9,372	8,756	8,201	7,702	7,250	6,840	6,467	6,128
19	12,085	11,158	10,336	9,604	8,950	8,365	7,839	7,366	6,938	6,550	6,198
20	12,462	11,470	10,594	9,818	9,129	8,514	7,963	7,469	7,025	6,623	6,259
21	12,821	11,764	10,836	10,017	9,292	8,649	8,075	7,562	7,102	6,687	6,312
22	13,163	12,042	11,061	10,201	9,442	8,772	8,176	7,645	7,170	6,743	6,359
23	13,489	12,303	11,272	10,371	9,580	8,883	8,266	7,718	7,230	6,792	6,399
24	13,799	12,550	11,469	10,529	9,707	8,985	8,348	7,784	7,283	6,835	6,434
25	14,094	12,783	11,654	10,675	9,823	9,077	8,422	7,843	7,330	6,873	6,464

CHAPITRE 8

Évaluation

Chris Baguley et Goff Jacobs

CHAPITRE 8

Évaluation

	Page
8.1 INTRODUCTION	290
→ 8.1.1 Suivi des objectifs nationaux	290
→ 8.1.2 Suivi de l'évolution dans les pays en voie de développement	290
8.2 OBSERVATIONS ET ÉTUDES COMPORTEMENTALES	292
→ 8.2.1 Évaluations par observations	292
→ 8.2.2 Évaluations par études comportementales	293
Vitesse de la circulation	295
Conflits de circulation	295
Relevé de circulation	295
Temps de déplacement	296
Perception du public	296
Effets sur les zones avoisinantes	296
8.3 ÉVALUATION FONDÉE SUR LES ACCIDENTS	297
→ 8.3.1 Effet sur les accidents	297
→ 8.3.2 Facteurs à considérer	297
→ 8.3.3 Analyses graphiques	299
→ 8.3.4 Évaluation statistique	301
8.4 ÉVALUATION ÉCONOMIQUE	303
8.5 EFFICACITÉ D'ENSEMBLE ET STRATÉGIE FUTURE	304
RÉFÉRENCES	305
ANNEXE 8-1 TESTS STATISTIQUES	307

LISTE DES FIGURES

Figure 8-1	Promotion et éducation en sécurité routière – Exemple de cadre d'évaluation	291
Figure 8-2	Effets positifs d'actions sur la vitesse	293
Figure 8-3	Exemple – Accidents cibles de motos (campagne de phares de jour)	300
Figure 8-4	Comparaison de données d'accidents avant et après intervention	300

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 8-1	Variations du nombre de victimes – Grande-Bretagne	290
Tableau 8-2	Études utiles selon le type d'accident	294
Tableau 8-3	Accidents avec blessures à 122 intersections d'une même ville	298
Tableau 8-4	Effet empirique de la régression vers la moyenne sur la fréquence d'accidents	298
Tableau 8-5	Tests statistiques décrits à l'annexe 8-1	303
Tableau 8-6	Exemple – Liste sommaire d'interventions locales	304
Tableau 8-A1	Table de la distribution t (Student)	309
Tableau 8-A2	Table du χ^2	311
Tableau 8-A3	Fréquences d'accidents corporels au site traité et aux sites de contrôle	312

8.1 INTRODUCTION

Comme on l'a vu au **chapitre 2**, il est nécessaire, dans tous les pays, d'établir un **plan d'action** complet pour être en mesure d'intervenir de façon efficace en sécurité routière. La réalisation annuelle de ces plans d'action étant très coûteuse, il importe de bien contrôler toutes les activités qui y sont liées afin de s'assurer de l'efficacité des sommes investies. Lorsque des initiatives sont mises en œuvre, il faut en vérifier les effets, idéalement en analysant les données d'accidents pendant des périodes « avant » et « après » leurs réalisations.

8.1.1 SUIVI DES OBJECTIFS NATIONAUX

Comme un grand nombre de facteurs évoluent simultanément, il peut s'avérer difficile de lier une réduction spécifique d'accidents à une intervention précise. Mais ce chapitre explique comment des changements se produisant à l'échelle nationale peuvent être pris en compte lors de l'évaluation de l'effet d'améliorations peu coûteuses effectuées à des sites particuliers.

Il importe, dans une perspective globale, de déterminer l'impact d'un plan d'action national en sécurité routière et de s'assurer que les objectifs fixés ont été atteints. Au cours des années 80, par exemple, la Grande-Bretagne s'est fixée comme objectif national de réduire du tiers les traumatismes causés par les accidents de la route entre les valeurs moyennes de 1981 à 1985 et l'an 2000. Depuis lors, les statistiques pour l'ensemble du pays ont été suivies de près pour déterminer l'effet de tout un éventail de mesures de correction, y compris des améliorations à l'infrastructure, des changements législatifs, etc. L'effet global est résumé au tableau 8-1.

Ce tableau indique qu'il y a eu une réduction importante des décès et des blessures graves et une augmentation des blessures légères. On note ainsi une réduction très évidente de la gravité des blessures au cours de ces quinze années, mais peu de variation dans le nombre total d'accidents avec victimes. Une analyse plus détaillée montre les changements survenus sur des routes de diverses catégories et pour divers types d'usagers de la route. L'analyse révèle aussi que les débits de circulation ont augmenté de plus de 50 % depuis 1981-1985 et que le taux global de victimes d'accidents (victimes par million de véhicules-km) a diminué de 37 %.

Tableau 8-1 Variations du nombre de victimes Grande-Bretagne

GRAVITÉ	1981-85 MOYENNE	1999	VARIATION (%)
DÉCÈS	5 598	3 423	- 39,0
GRAVES	74 534	39 122	- 47,5
LÉGERS	241 787	277 765	+ 15,0
TOTAL	321 919	320 310	- 0,5

8.1.2 SUIVI DE L'ÉVOLUTION DANS LES PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT

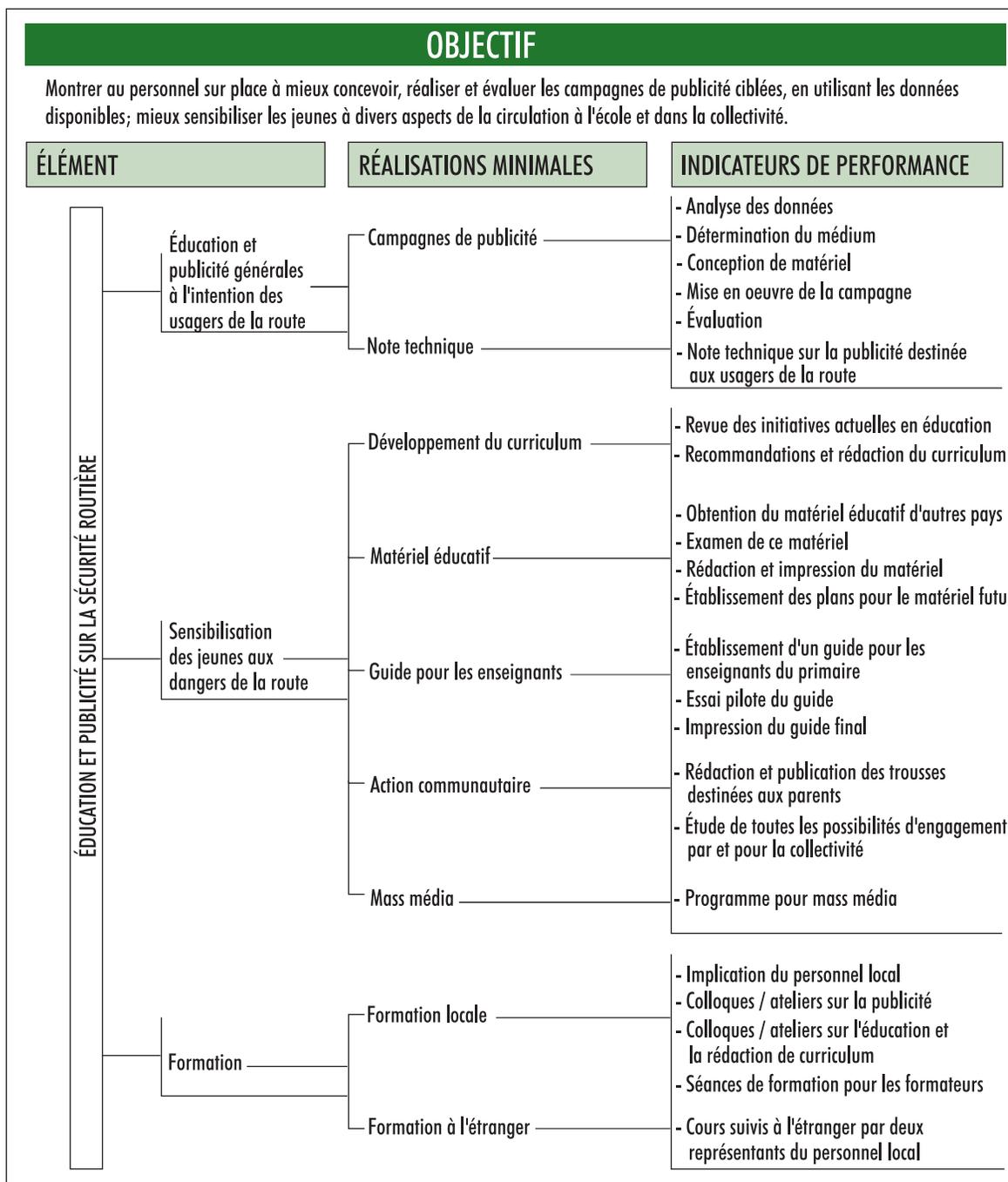
Comme les programmes de sécurité routière sont financés à même des ressources financières limitées, il faut, dans tous les pays, en faire un suivi efficace pour s'assurer qu'ils atteignent bien leurs objectifs et contribuent à réduire le nombre et la gravité des accidents de la route à long terme. Cela est particulièrement vrai dans les pays en voie de développement, où des programmes d'actions complets ont récemment été élaborés à partir de fonds limités provenant du gouvernement central ou d'organismes d'aide multilatérale et bilatérale.

Les plans d'actions devraient fixer des objectifs quantifiables de réductions des fréquences (ou taux) d'accidents et de victimes, afin de pouvoir évaluer l'efficacité des mesures (**chapitre 2**). Il faut, en plus de vérifier l'atteinte de ces objectifs quantifiés, s'assurer par l'entremise du **conseil national de sécurité routière** (ou d'un organisme équivalent) que les divers ministères et organismes concernés participent activement à la mise en œuvre des améliorations stipulées au plan.

Dans divers pays, des programmes précis ont été élaborés pour ce faire et des objectifs clairs ont été affectés à chaque volet du plan d'action, avec aussi des résultats attendus et une série d'indicateurs de performance. Les objectifs en matière de sécurité routière peuvent ainsi être évalués en fonction des progrès réalisés dans chaque secteur. Une telle structure idéalisée offre un système de pointage qui peut servir à déterminer le rendement réel obtenu.

À titre d'exemple, tout plan d'action devrait inclure des mesures d'éducation et de promotion de la sécurité routière. La figure 8-1 indique les composantes pouvant être associées à ces mesures, à savoir les réalisations minimales, d'une part, et les indicateurs de performance d'autre part. Les progrès effectués en matière d'éducation et de promotion peuvent donc être évalués sur une base régulière en se référant à cette figure.

Figure 8-1 Promotion et éducation en sécurité routière – Exemple de cadre d'évaluation



Un tel cadre, répétons-le, doit être élaboré pour chaque composante du plan d'action.

8.2 OBSERVATIONS ET ÉTUDES COMPORTEMENTALES

Lorsqu'une administration routière consacre des efforts et des sommes importantes à l'amélioration de la sécurité à des sites problématiques, des itinéraires ou de zones urbaines, il lui faut évaluer l'effet de ces efforts, surtout en regard de l'indicateur fondamental de sécurité, soit les accidents eux-mêmes. Une telle évaluation permet non seulement de s'assurer que les effets attendus ont été atteints mais aussi de tirer profit des succès ou échecs passés, afin de mieux cibler les actions futures. Tel que décrit au *chapitre 7*, c'est sur la base des économies associées aux réductions attendues d'accidents que se justifient les investissements en matière de sécurité routière dans la plupart des pays industrialisés. Comme une administration routière doit normalement rendre compte de l'efficacité de ses actions, elle doit pouvoir déterminer jusqu'à quel point les objectifs de réduction d'accidents fixés ont été atteints, et démontrer ainsi si elle a fait bon usage des sommes investies.

À ce titre, le présent chapitre décrit des tests statistiques simples permettant d'estimer les résultats obtenus. L'une des difficultés associées à la réalisation de telles études portant sur les accidents résulte de la nature aléatoire de ces événements et de leur relative rareté en un même site. Il faut souvent des années après l'implantation d'une mesure ou d'un ensemble de mesures de correction pour disposer de données suffisantes permettant d'estimer les modifications d'accidents obtenues. Il est cependant du devoir de l'ingénieur en sécurité de s'assurer que les usagers de la route ne soient pas exposés à un danger plus grave après l'introduction de telles mesures. Il ne peut donc se permettre d'attendre des années pour démontrer l'efficacité d'une intervention. Des indicateurs de sécurité alternatifs, qui s'appuient sur des observations de terrain, peuvent être utilisés à cette fin, tel que décrit dans cette section.

Le processus d'évaluation doit donc s'effectuer selon deux axes distincts :

- évaluation par des méthodes d'observation (sections 8.2.1 et 8.2.2);
- évaluation fondée sur les accidents (*section 8.3*).

8.2.1 ÉVALUATIONS PAR OBSERVATIONS

Le site, la route ou la zone où les travaux ont été effectués doit faire l'objet d'observations immédiatement après l'achèvement des travaux et régulièrement par la suite, au cours des jours, semaines ou mois qui suivent, jusqu'à ce que l'on puisse démontrer que le fonctionnement est conforme aux attentes.

Les mesures de comportement qui ont été effectuées avant les travaux, lors de l'étude du site, devraient être effectuées à nouveau après que les interventions aient été réalisées et que le site ait été rouvert à la circulation, pour donner du poids aux arguments en faveur de modifications supplémentaires ou confirmer l'efficacité du traitement (étude de conflits de circulation, relevés de vitesse, etc.). Certaines composantes d'un projet peuvent entraîner des réactions imprévues de la part des conducteurs ou des cyclistes, par exemple, et créer des situations dangereuses. L'observation permettra de mettre immédiatement ces problèmes en évidence afin que les actions appropriées puissent être rapidement mises en oeuvre pour éliminer le danger.

Dans le meilleur des cas, le danger pourra facilement être supprimé, p. ex. en modifiant l'alignement d'une bordure pour empêcher une manœuvre dangereuse. Dans le pire des cas, il faudra complètement revoir la solution et proposer des mesures alternatives.

Il est essentiel d'effectuer ces observations préliminaires, même si ce n'était que pour éviter la « mauvaise publicité » résultant d'interventions de sécurité qui seraient perçues par le public comme étant la cause d'accidents.

Il importe aussi de conserver les résultats de ces évaluations pour créer une base de données sur l'efficacité de différents types de traitements. On pourra en effet en tirer des enseignements utiles pour de futures interventions de sécurité portant sur l'infrastructure.

8.2.2 ÉVALUATIONS PAR ÉTUDES COMPORTEMENTALES

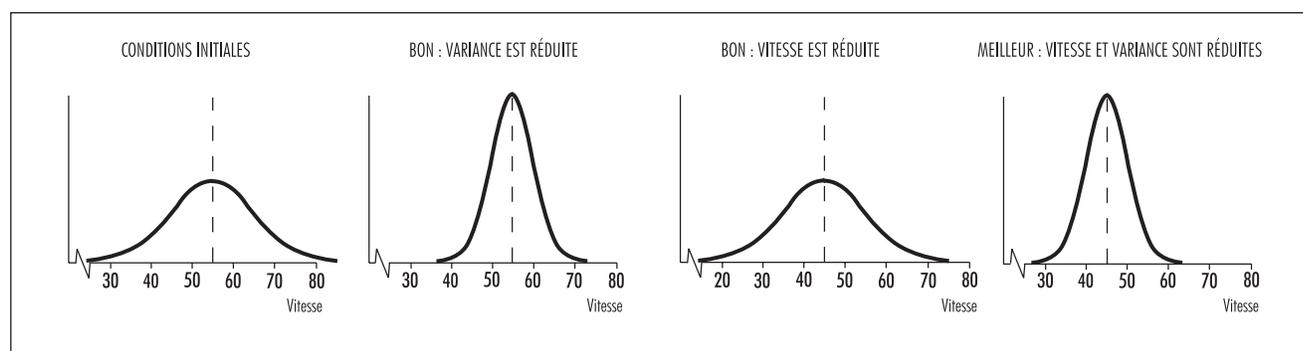
Une étude avant et après les travaux est le moyen le plus souvent utilisé pour vérifier ou mesurer l'effet de sécurité d'une intervention. Le point le plus important, bien sûr, consiste à déterminer si les travaux ont effectivement amélioré la situation au chapitre des accidents. Une telle évaluation est toujours nécessaire et les méthodes statistiques qui sont décrites à la *section 8.3.4* et à l'*annexe 8-1* expliquent comment réaliser ce type d'étude.

Mais il s'agit, rappelons-le, d'un exercice qui ne peut souvent être effectué que plusieurs années après l'implantation d'une mesure et des méthodes d'évaluation plus immédiates doivent donc être utilisées. On doit considérer à cette fin d'autres facteurs susceptibles d'avoir une influence sur la sécurité des usagers au site traité. En examinant ces facteurs, l'administration routière pourra déterminer si les améliorations engendrent les effets escomptés. La liste suivante, non exhaustive, énumère quelques-uns de ces facteurs :

- vitesse instantanée;
- distribution de vitesses;
- conflits de circulation;
- débits de circulation;
- temps de parcours / retards;
- respect de la signalisation;
- résistance au dérapage;
- distance de visibilité;
- piétons (délais, temps de traversée, créneaux).

Les justifications d'études de vitesse, de conflits de circulation, de relevés de circulation et de temps de déplacement sont traitées dans les sections suivantes. Des études spécifiques sur les mouvements piétonniers doivent aussi être réalisées si une proportion importante d'accidents implique ce type d'usagers. De même, les dérapages fréquents sur chaussée mouillée peuvent justifier la réalisation d'une étude d'adhérence (qui peut être liée à l'utilisation de granulat calcaire). Dans les pays en voie de développement, où le comportement des usagers de la route laisse parfois à désirer, il peut être utile d'observer le comportement des conducteurs aux feux de circulation, aux traverses piétons et aux intersections non protégées.

Figure 8-2 Effets positifs d'actions sur la vitesse



La nature de la problématique d'accidents identifiée au site à l'étude devrait guider le choix des études à effectuer. Le tableau 8-2 présente quelques indications à cet effet.

Tableau 8-2 Études utiles selon le type d'accidents

TYPE D'ACCIDENT PRÉDOMINANT	ÉTUDES				AUTRES
	RELEVÉ DE CIRCULATION	VITESSE INSTANTANÉE	CONFLITS DE CIRCULATION	RÉSISTANCE AU DÉRAPAGE	
INTERSECTION					
Collision à angle droit Collision latérale	•	•	•		Respect des dispositifs de signalisation Distance de visibilité Réglage des feux
Dérapage/perte de contrôle		•		•	Drainage de la chaussée
Obscurité	•	•			Luminance de la surface Inventaire de la signalisation et de la délinéation
Piétons	•	•	•		Débits de traversée Temps de traversée Créneaux et retards
Motos, vélos	•	•	•		Distance de visibilité (réduite par d'autres véhicules)
Collision arrière	•	•	•	•	Espacement entre véhicules Réglage des feux
SECTION					
Dérapage/perte de contrôle		•		•	Drainage
Obscurité		•			Luminance de la surface Inventaire de la délinéation
Piétons	•	•	•		Débits de piétons qui traversent ou circulent sur le trottoir Fréquence et lieux de traversée/refuges médians
Motos, vélos	•				Largeur de la chaussée
Courbes horizontales	•	•		•	Dévers
Dépassements	•	•			Fréquence et emplacement des zones de dépassement Distance de visibilité de dépassement
Collision arrière	•	•	•	•	Espacement entre véhicules
Véhicule seul Sortie de route		•		•	Inventaire routier

Il serait difficile de réaliser des études de comportement détaillées à chaque fois qu'une modification mineure est effectuée, mais de telles études sont sûrement justifiées dans le cas d'actions *de masse* ou de mesures appliquées à l'ensemble d'une région. Il faut cependant conserver à l'esprit que les variables non reliées aux accidents ne constituent pas de réelles mesures de l'efficacité d'une amélioration quelconque. Il n'existe pas en effet de variable qui ait une relation précise et certaine avec les accidents. Une diminution mesurée de la vitesse moyenne, par exemple, ne permet pas d'estimer le nombre d'accidents évités. C'est là un inconvénient de taille, car le résultat d'une étude de comportement n'est en fait qu'un indicateur de changement de sécurité. Néanmoins, des mesures objectives comme celles qui sont décrites dans les prochains paragraphes sont souvent d'une réelle utilité.

De façon générale, on attendra environ deux mois environ après la réouverture de la route pour procéder à l'étude des comportements « après ». Les usagers réguliers ont ainsi le temps de s'habituer aux nouvelles caractéristiques de la route, ce qui élimine en grande partie les effets d'apprentissage.

Vitesse de la circulation

L'excès de vitesse est reconnu être un facteur d'accident important (Taylor et al., 2000; Vasco, 2000). Il ne fait en effet aucun doute qu'une vitesse excessive diminue la marge de sécurité et augmente d'autant les risques d'accidents et de blessures. Si l'un des objectifs des mesures envisagées est de réduire les vitesses, il est clair que des mesures de vitesses doivent être effectuées. On choisira soigneusement des emplacements similaires pour réaliser des études avant-après de vitesse et on utilisera de préférence des équipements de mesure automatiques.

L'étude technique « **vitesses instantanées** », de la partie 4 du manuel, explique comment effectuer une telle étude.

Des tests statistiques peuvent être réalisés à partir des résultats obtenus (**annexe 8-1**). On peut ainsi effectuer un **test-t** pour vérifier si les changements de vitesses pratiquées entre deux périodes sont statistiquement significatifs ou encore pour vérifier s'il existe un écart significatif de vitesse entre deux types de véhicules (p. ex. passagers et camions). Le **test de Kolmogorov-Smirnov** peut servir à déterminer si la distribution de vitesses pratiquées a été modifiée après l'implantation d'une mesure.

[ÉTUDE DES VITESSES INSTANTANÉES ]

[TEST-t ]

[TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV ]

Conflits de circulation

Il peut être difficile de déterminer les facteurs qui contribuent aux accidents à un site précis en utilisant uniquement les données d'accidents, car ces événements sont en général peu nombreux et de plus, les informations disponibles peuvent être incomplètes ou peu fiables. La technique des conflits de circulation, qui consiste en l'observation d'un site par une personne ayant reçu une formation lui permettant de détecter et d'enregistrer des informations sur les « quasi-accidents », est utilisée avec succès dans plusieurs pays. Un conflit de circulation est défini comme un événement où un accident a pu être évité parce qu'une ou plusieurs des parties impliquées a pris une action évasive.

Les mesures de conflits ne sont en général utiles qu'aux intersections où, à l'étape du diagnostic, elles peuvent offrir des indices utiles quant aux raisons pour lesquelles la configuration du site pose un problème aux usagers. Les techniques de conflits de circulation peuvent aussi servir à comparer les conditions d'opération à un site avant et après intervention.

L'étude de **conflits de circulation**, de la partie 4 du manuel, explique comment observer ces événements.

Relevé de circulation

Il est important de recueillir des données exactes sur la circulation lorsqu'il s'agit de comparer des sites d'accidents. Ces données doivent être compatibles avec les données d'accidents (même période) et être suffisamment détaillées pour les besoins de l'évaluation. Si l'intervention peut influencer les manœuvres complétées à une intersection ou le choix d'itinéraire emprunté par les usagers de la route, il faudra recueillir des données sur les débits de circulation aux endroits concernés, avant et après sa mise en oeuvre.

Le recensement du nombre de véhicules et piétons circulant à un site quelconque fournit de précieux indices sur les risques encourus par différents groupes d'usagers. Si par exemple, le nombre élevé de cyclistes et d'accidents les impliquant a justifié l'implantation d'une voie cyclable, il faudra en vérifier le niveau d'utilisation et déterminer si elle a contribué à l'augmentation du volume de cyclistes.

L'étude « *relevé de circulation* », de la partie 4 du manuel, explique comment effectuer un comptage routier.

Lorsque les interventions touchent une portion complète d'un réseau, il pourra s'avérer utile de procéder à une enquête « origine-destination » afin de déterminer si les travaux ont eu un impact sur les itinéraires empruntés par les automobilistes.

Temps de déplacement

Dans certains cas, il faudra aussi effectuer des études de temps de déplacement, particulièrement lorsque les interventions forcent les automobilistes à emprunter un autre trajet. Si ces changements de trajets entraînent une augmentation appréciable des temps de déplacement, il faudra prendre en compte la valeur du temps perdu (comme facteur négatif) dans l'évaluation économique du projet (*chapitre 7*).

L'étude de *temps de déplacement et retards*, de la partie 4 du manuel, explique comment effectuer ce type de relevé.

Perception du public

Les interventions qui touchent l'ensemble d'une région sont souvent réalisées pour répondre aux pressions de résidents ayant mené une campagne vigoureuse afin que « quelque chose » soit fait. La consultation publique constitue en conséquence une partie importante de ce type de projet et les sentiments du public et des usagers de la route doivent être considérés avec soin.

Avant de réaliser un projet, il faudrait idéalement évaluer la réaction de la population au moyen de questionnaires envoyés par la poste ou de sondages effectués auprès des riverains et des usagers locaux. Il convient aussi bien sûr d'informer le public sur les détails du projet, sa nécessité et sa pertinence. Quelques mois après sa réalisation, on devrait procéder à d'autres sondages similaires pour déterminer le niveau de satisfaction (ou d'insatisfaction) général et spécifique à certains éléments précis des travaux.

Effets sur les zones avoisinantes

Certaines mesures peuvent affecter les zones avoisinantes en contribuant à y augmenter les vitesses, les débits de circulation ou le nombre d'accidents. Il importe donc de bien vérifier ces facteurs dans les zones adjacentes à celles où les mesures ont été introduites.

8.3 ÉVALUATION FONDÉE SUR LES ACCIDENTS

8.3.1 EFFET SUR LES ACCIDENTS

Le facteur le plus important à évaluer pour une mesure de sécurité est, bien sûr, son effet sur les accidents, c'est-à-dire si le pourcentage de réduction d'accidents prévu a été atteint. L'ensemble des améliorations apportées à un site précis devrait avoir été sélectionné de façon à réduire les types d'accidents les plus fréquents, qui constituent le groupe cible. Il s'agit donc, d'une part, de comparer le nombre d'accidents dans le groupe cible avant et après le traitement (puisqu'on suppose que le même patron d'accidents va continuer à se produire si rien n'est fait) et, d'autre part, de déterminer si d'autres types d'accidents ont augmenté.

Cependant, il faut généralement des années avant de pouvoir tirer des conclusions valides avec une certitude raisonnable, compte tenu de la nature aléatoire des accidents et de leur taux d'occurrence relativement faible. On ne peut se permettre d'attendre aussi longtemps avant d'avoir des résultats concrets et dans certains cas, il est possible d'utiliser des méthodes de contrôle à plus court terme. Une telle méthode est suggérée à la **section 8.3.3**.

Outre la question du temps, d'autres facteurs compliquent l'évaluation - pourtant assez simple en apparence - de l'efficacité des changements d'accidents obtenus aux sites, routes ou tronçons qui ont été traités. Les principaux sont :

- la régression vers la moyenne;
- la migration des accidents;
- l'adaptation comportementale.

Chacun de ces facteurs est discuté dans les prochains paragraphes

8.3.2 FACTEURS À CONSIDÉRER

La régression vers la moyenne

Ce phénomène complique les évaluations à des sites qui ont été traités parce que le nombre d'accidents y était élevé au cours d'une année quelconque. Ce nombre aurait en effet eu tendance à diminuer au cours des années suivantes, même en l'absence de tout traitement. Le problème se produit même si l'on considère des périodes de trois ans d'accidents. Dans les deux cas, il est probable que les fréquences d'accidents observées aux sites sélectionnés se trouvaient au sommet de fluctuations aléatoires et que ces fréquences auraient « naturellement » diminuées dans les années subséquentes. C'est ce qu'on appelle la « régression vers la moyenne ». Ce phénomène est parfois confondu, à tort, avec la « **biais de sélection** » car ce biais est une résultante de l'effet de la régression vers la moyenne.

Le **tableau 8-3** illustre le phénomène. On y montre les fréquences rapportées d'accidents avec blessures à 122 sites d'une même ville, durant une période de deux ans. Aux sites où se sont produits au moins 5 accidents au cours de la première année, il y a eu dans l'ensemble moins d'accidents durant l'année suivante. Par contre, aux sites où il y en a eu 4 ou moins, il y a eu davantage d'accidents au cours de la deuxième année. Si des actions correctives avaient été prises aux 9 pires sites à la fin de la première année, on aurait constaté une réduction d'accidents importante de 37 % à la fin de la seconde année même si les mesures avaient été complètement inefficaces (en d'autres termes, on aurait obtenu le même résultat en n'intervenant pas). Un résultat encore plus erroné aurait été obtenu si les 113 autres sites (où il y a eu moins d'accidents) avaient été choisis comme **sites de contrôle** puisqu'il y a eu une augmentation globale du nombre d'accidents dans ce groupe.

Tableau 8-3 Accidents avec blessures à 122 intersections d'une même ville

NOMBRE D'ACCIDENT PAR SITE EN 1999	NOMBRE DE SITES	NOMBRE TOTAL D'ACCIDENTS 1999	NOMBRE TOTAL D'ACCIDENTS 2000	CHANGEMENT (SANS GROUPE CONTRÔLE)
9-10	1	10	6	- 40 %
7-8	2	15	10	- 33 %
5-6	6	32	20	- 38 %
3-4	17	61	68	+12 %
0-2	96	76	119	+57 %
TOTAL	122	194	223	

En pratique, l'effet de la régression vers la moyenne semble exagérer l'efficacité réelle d'un traitement de 5 % à 30 %. La façon la plus simple de prendre en compte à la fois l'effet de la régression vers la moyenne et les changements dans l'environnement consiste à utiliser des sites de contrôle choisis de la même façon que les sites traités et où des problèmes similaires ont été détectés, mais de les laisser tels quels, sans traitement. En pratique, bien sûr, il est difficile de trouver des sites de contrôle vraiment similaires et surtout, de justifier, après les avoir étudiés, de ne pas les traiter.

Les statisticiens débattent du phénomène depuis des années et plusieurs ont proposé des solutions (p. ex. Abbess et al., 1981; Hauer et Byer, 1983; Wright et Boyle, 1987; Maher et Mountain, 1988; Kulmala, 1994; Radin Umar et al., 1995).

Néanmoins, l'effet de la régression vers la moyenne a tendance à diminuer si l'on considère des périodes plus longues. Dans le cadre d'une étude menée dans deux comtés du Royaume-Uni, Abbess et al. (1981) ont estimé que la régression vers la moyenne avait les effets indiqués au tableau 8-4, en moyenne, sur la fréquence d'accidents à des sites avec concentration anormale d'accidents (plus de 8 accidents avec blessures par année).

Tableau 8-4 Effet empirique de la régression vers la moyenne sur la fréquence d'accidents

CHANGEMENT DE LA FRÉQUENCE ANNUELLE D'ACCIDENTS ATTRIBUABLE À LA RÉGRESSION VERS LA MOYENNE	PÉRIODE D'ACCIDENTS CONSIDÉRÉE
15 à 26 %	1 an
7 à 15 %	2 ans
5 à 11 %	3 ans

Il est donc suggéré, si l'on choisit de traiter les sites ayant les pires fréquences d'accidents, de prévoir les marges ci-dessus lors du calcul des réductions réelles d'accidents résultant d'interventions de sécurité. On pourra obtenir des estimations plus précises en utilisant des données tirées de sites similaires à ceux traités, conformément à la méthode proposée par Abbess et al. (1981), qui est décrite à l'**annexe 8-1**. L'utilitaire de calcul « *régression vers la moyenne* » est basé sur cette méthode.

[RÉGRESSION VERS LA MOYENNE ]

Migration des accidents

Il existe encore une certaine controverse à savoir si ce phénomène existe vraiment, même si certains chercheurs sont de cet avis (Boyle et al., 1984; Persaud, 1987). Il a trait au fait que le nombre d'accidents a tendance à augmenter aux sites adjacents à un site traité avec succès, ce qui semble produire un transfert ou une « migration » des accidents. La cause n'en est pas évidente, mais l'hypothèse est que les automobilistes « compensent » l'accroissement de sécurité aux sites traités en relâchant leur vigilance ailleurs.

Pour détecter un tel phénomène, il faut comparer la fréquence d'accidents autour du site traité avant et après le traitement, en faisant appel à un groupe de contrôle approprié.

Cependant, il n'existe pas encore de technique reconnue pour estimer un tel effet à un site particulier. La première étude sur le sujet (Boyle et al., 1984), estimait que le nombre d'accidents aux sites adjacents avait augmenté de 9 % mais une étude suivante, portant sur un plus grand nombre de sites, (Persaud, 1987) concluait que l'augmentation était de 0,2 accidents par site et par année.

Adaptation comportementale

Cet effet, qui est encore plus sujet à controverse, est toutefois relié au précédent. Selon le principe de « compensation de risque » ou la théorie « d'homéostasie du risque », les usagers de la route auraient tendance à modifier leur comportement pour compenser les améliorations de sécurité routière. La théorie initiale, élaborée par Wilde (1978), suggérait que les automobilistes en général avaient tendance à accepter un niveau fixe de risque et prenaient donc davantage de risques lorsqu'ils se sentaient mieux protégés contre les accidents, que ce soit par exemple au moyen d'une ceinture de sécurité ou de freins antiblocage.

La portée du phénomène est extrêmement difficile à vérifier, mais l'ingénieur doit savoir qu'une telle adaptation comportementale est possible lorsqu'il envisage des mesures de réduction d'accidents. Ainsi par exemple, l'amélioration des passages piétonniers par des sections surélevées de la route (dites « tables de ralentissement ») ou des passages surélevés (qui donnent l'impression de prolonger le trottoir) peut en fait amener les piétons à relâcher leur vigilance en traversant la rue. Toutefois, l'idée suivant laquelle l'adaptation comportementale peut sérieusement diminuer l'efficacité d'interventions de sécurité est peu crédible et ne représente pas une menace envers les pratiques courantes.

On trouvera de plus amples informations sur le sujet dans Adams (1985), Mountain et al. (1992) et Grayson (1996).

8.3.3 ANALYSES GRAPHIQUES

On a déjà fait appel, dans certains pays, à une méthode visuelle simple (p. ex. Radin Umar et al., 1995) pour étudier l'évolution des accidents dans le temps : il s'agit de reporter sur un même graphique la fréquence cumulative d'accidents (et leurs types) ainsi que leur moyenne cumulative (voir définitions ci-dessous).

Il faut cependant mentionner que cette méthode s'applique davantage aux actions de masse et n'est pas très utile dans le cas de sites isolés car le nombre d'accidents y est trop faible.

La **figure 8-3** présente un exemple; le graphique montre qu'une campagne malaisienne encourageant les motocyclistes à laisser leurs phares allumés lorsqu'ils circulent de jour semble avoir réduit les accidents de jour pouvant être attribuables à une mauvaise visibilité des motocyclistes (MSTOX = motos roulant en ligne droite ou tournant en même temps qu'un autre usager de la route traverse leur trajectoire) tout en n'ayant pas d'effet, comme on devait s'y attendre, sur le nombre d'accidents de nuit.

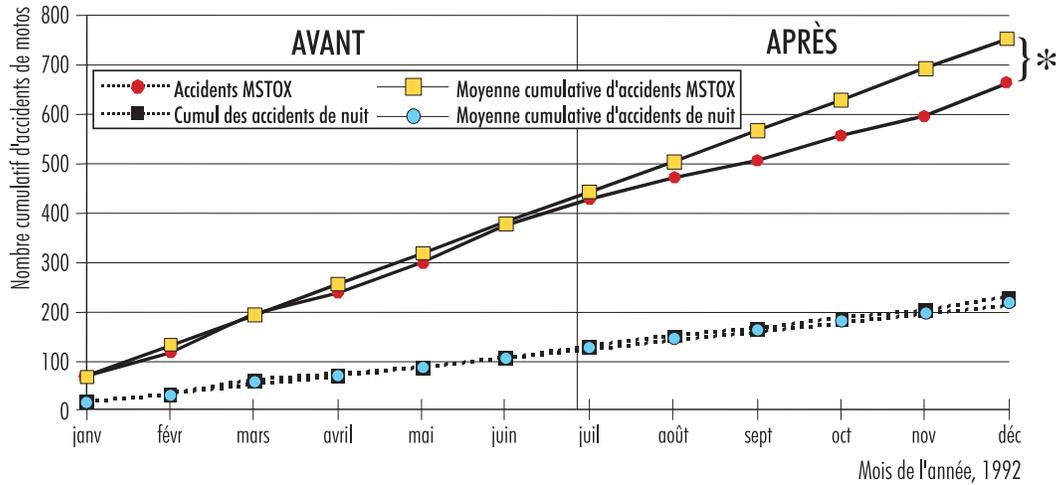
La deuxième ligne du tableau de la **figure 8-3** montre la fréquence mensuelle cumulative d'accidents cibles dans les 6 mois précédant et suivant la mesure (fin juin). La troisième ligne du tableau (moyenne cumulative) s'obtient en calculant tout d'abord la moyenne mensuelle d'accidents de la période avant (dans ce cas 6 mois); cette valeur est ensuite appliquée au premier mois, puis additionnée à chaque mois subséquent. Il s'agit donc du nombre d'accidents auquel on aurait pu s'attendre si cette action n'avait pas été effectuée. Les lignes 5 et 6 de ce même tableau montrent les chiffres équivalents pour les accidents de nuit impliquant une motocyclette. Dans cet exemple, les moyennes cumulatives sont :

$$\text{Pour les accidents MSTOX : } (68 + 48 + 79 + 44 + 61 + 73) / 6 = 62$$

$$\text{Pour les accidents nocturnes : } (17 + 16 + 28 + 11 + 15 + 20) / 6 = 18$$

On constate que dans la période après intervention (juillet à décembre), il se crée un écart croissant de mois en mois entre le nombre d'accidents cibles réel à survenir de jour (ligne 2 du tableau) et le nombre attendu si aucune action n'avait été mise en œuvre (ligne 3 du tableau). Le nombre d'accidents attendu est plus élevé que le nombre d'accidents observé ce qui indique donc que la mesure a eu un effet positif. L'astérisque (*) du graphique de la **figure 8-3** représente l'effet de la mesure. En comparaison, les nombres observés et attendus d'accidents de nuit dans la période après demeurent très similaires.

Figure 8-3 Exemple – Accidents ciblés de motos (campagne de phares de jour)



TYPE DE COLLISION	JAN	FÉV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛ	SEP	OCT	NOV	DÉC
Accidents MSTOX de jour	68	48	79	44	61	73	53	43	38	49	40	68
Cumul des accidents MSTOX	68	116	195	239	300	373	426	469	507	556	596	664
Moyenne cumul. des acc. MSTOX	62	124	187	249	311	373	435	497	560	622	684	746
Accidents de moto de nuit	17	16	28	11	15	20	23	13	13	21	17	26
Cumul des accidents de nuit	17	33	61	72	87	107	130	143	156	177	194	220
Moyenne cumul. des acc. de nuit	18	36	54	71	89	107	125	143	161	178	196	214

Note : MSTOX = motos roulant en ligne droite ou tournant en même temps qu'un usager de la route croise leur trajectoire

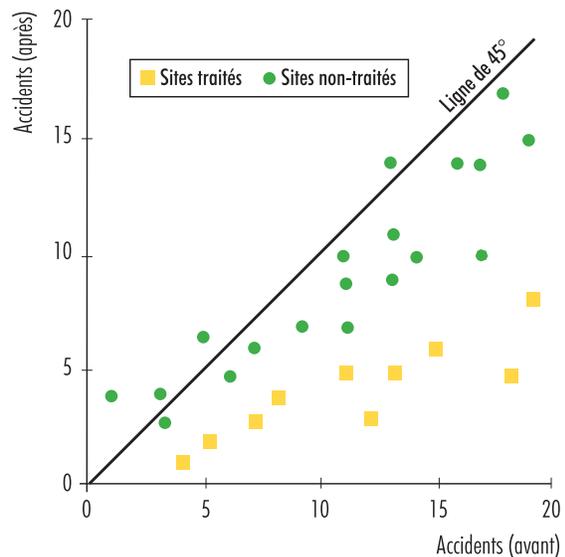
Il faut normalement une période beaucoup plus longue (3 ans en moyenne) pour être certain que la nature aléatoire des accidents a été prise en compte et obtenir des résultats qui soient statistiquement valides. Pour un suivi plus rapide, on pourra recueillir d'autres données portant sur le comportement des usagers, tel que décrit dans les sections précédentes.

Une autre méthode simple, qui permet de vérifier graphiquement l'effet d'une intervention lorsqu'un groupe de sites de contrôle (non traités) a été sélectionné, est décrite dans Ogden (1996).

Pour chaque site du groupe traité et non traité, on reporte les accidents survenus avant et après la période de traitement sur un graphique tel que montré à la figure 8-4. Si le nombre d'accidents ne change pas durant les deux périodes, les points devraient être alignés par rapport à une ligne à 45 degrés. L'écart par rapport à cette ligne indique l'importance de la modification du nombre d'accidents dans la période après traitement.

Si les sites traités ont tendance, comme dans le cas de la figure 8-4, à se situer sensiblement sous ceux qui ne l'ont pas été, on peut supposer que le traitement a eu un effet positif.

Figure 8-4 Comparaison de données d'accidents avant et après intervention



Source : Ogden, 1996

8.3.4 ÉVALUATION STATISTIQUE

Lors de l'évaluation de l'effet d'un traitement quelconque, il faut répondre aux questions suivantes :

- le traitement a-t-il été efficace?
- si oui, dans quelle mesure?

Les explications qui sont fournies dans ce chapitre supposent que le lecteur aura à interpréter les données d'accidents d'un point de vue pratique, sans nécessairement avoir à comprendre de façon détaillée les théories statistiques qui les sous-tendent.

La nature aléatoire et la relative rareté des accidents de la route font en sorte qu'on peut observer des variations assez importantes au niveau des fréquences annuelles d'accidents à des sites isolés, même lorsque le *niveau de sécurité* n'y change pas. Ces variations font qu'il est plus difficile de quantifier l'effet d'un traitement mais certains tests statistiques peuvent être utilisés pour déterminer si un changement de fréquence d'accidents peut être attribuable au hasard ou non.

Lorsqu'on veut estimer les changements d'accidents (et c'est de façon générale le cas pour toutes les méthodes d'observation qui sont décrites dans la *section 8.2*), certains facteurs externes, pouvant avoir une influence sur le résultat obtenu, doivent aussi être pris en compte : changement de limite de vitesse sur la route où se trouve le site, campagnes de sécurité routière nationale ou locale, intervention effectuée au niveau de la gestion de la circulation qui affecte les débits (p. ex. fermeture d'une intersection adjacente qui entraîne un changement marqué des trajets).

On peut tenir compte de ces facteurs en se basant sur les données recueillies à des sites de contrôle, à la condition que ces sites aient subi exactement les mêmes modifications que le site évalué (voir ci-dessous).

Sites de contrôle

On peut compenser pour les changements liés à des facteurs externes en comparant le site à l'étude avec des « sites de contrôle » non traités, pour des périodes équivalentes avant et après traitement. Ces données de contrôle peuvent être recueillies soit à des sites appariés ou à des zones de contrôle.

Dans le cas d'un site de contrôle apparié, il faut trouver un site qui soit géographiquement assez rapproché du site traité (mais pas au point d'être affecté par d'éventuels changements de circulation pouvant découler des travaux effectués à ce dernier) et qui ait sensiblement les mêmes caractéristiques. Il subira ainsi les mêmes variations locales qui ont une influence sur la sécurité (conditions climatiques, débits de circulation, campagnes de sécurité, etc.).

Bien que l'utilisation d'un site de contrôle apparié constitue la meilleure méthode en termes statistiques, il peut être difficile en pratique, de justifier qu'un autre site ayant le même type de problème de sécurité puisse être laissé sans traitement à seule fin de contrôle statistique. C'est ce qui explique qu'on utilise plus généralement des zones de contrôle comprenant plusieurs sites pour effectuer cette comparaison.

Les sites devant servir de contrôle :

- doivent être aussi semblables que possible aux sites traités;
- ne doivent pas subir l'influence du traitement;
- doivent être choisis dans une zone aussi large que possible : il peut s'agir, par exemple, d'une zone similaire ou d'un ensemble de routes où le nombre d'accidents est au moins 10 fois plus élevé que celui des sites traités.

Si par exemple, on envisage de modifier les feux de circulation à un site quelconque, on pourrait choisir, comme groupe de contrôle, toutes les intersections avec feux de la municipalité. Mais s'il n'y a que deux autres intersections avec feux à cet endroit et que le débit et le nombre d'accidents y sont moindres, il vaudrait alors mieux choisir, par exemple, toutes les intersections avec feux du comté ou de la province.

Il ne saurait être question, dans le présent manuel, d'expliquer en détail toutes les techniques statistiques qui sont disponibles mais simplement de suggérer quelques méthodes simples et pratiques d'évaluation de l'effet des mesures appliquées. Même s'il est souvent question d'un « site unique » dans les prochains paragraphes, les mêmes techniques peuvent aussi servir à déterminer l'effet d'actions de masse ou de mesures qui sont implantées à l'échelle d'une route ou d'une région, à la condition qu'un groupe de contrôle approprié soit choisi.

La principale difficulté liée à l'utilisation des données d'accidents à des fins d'évaluation - et même en supposant une grande précision au niveau des données disponibles - consiste à pouvoir faire la distinction entre les variations qui sont attribuables à l'intervention et celles qui relèvent d'autres facteurs. Même si les sites du groupe de contrôle sont excellents, il reste toujours un certain nombre de facteurs exogènes dont il faut aussi tenir compte.

Périodes « avant » et « après »

Divers aspects doivent être considérés lorsqu'on choisit une période pour comparer les accidents survenus avant et après un traitement :

- les périodes avant et après doivent être identiques au site traité et aux sites de contrôle;
- la période de construction ne doit pas être incluse dans ces périodes; si les dates de début et de fin des travaux ne sont pas connues avec précision, il faut exclure une plus longue période qui comprendra la période de construction;
- la période avant doit être assez longue pour qu'on puisse obtenir une bonne estimation statistique du niveau de sécurité réel (de manière à éliminer le plus possible les variations aléatoires), mais elle ne doit pas inclure de périodes où le site avait des caractéristiques différentes. En règle générale, une période de trois ans est considérée comme adéquate;
- même chose pour la période après, qui devrait aussi s'étendre sur trois ans (idéalement). Mais comme il faut normalement obtenir des résultats beaucoup plus rapidement, on pourra commencer par une période initiale d'un an, s'il n'y a pas lieu de croire que cela peut entraîner des distorsions (pour autant que la même période soit utilisée pour les sites de contrôle). Une période aussi courte, cependant, réduit nécessairement la précision; aussi conviendra-t-il de réévaluer plus tard l'efficacité de la mesure, lorsque des données supplémentaires deviendront disponibles.

Tests standards – Modifications des accidents

Différents tests statistiques peuvent servir à évaluer les variations d'accidents résultant d'interventions de sécurité; le lecteur qui désire comprendre les principes sous-jacents à ces tests est invité à consulter les manuels de référence en la matière. Le présent chapitre se limite à une brève description de quelques-uns des tests qui permettent de répondre aux deux questions de base qui sont posées au début de cette section, à savoir : le traitement a-t-il été efficace et si oui, dans quelle mesure?

Pour l'objectif visé, il est suffisant de supposer que le nombre d'accidents avant et après le traitement est tiré d'une distribution normale (ou gaussienne) et donc, que la distribution des accidents dans un échantillon est répartie symétriquement de part et d'autre d'une valeur moyenne.

On peut de cette façon utiliser le test de « chi-deux » pour répondre à la première question, à savoir si une mesure corrective a été efficace ou, en d'autres termes, si les variations d'accidents sont statistiquement significatives. Si le même traitement a été appliqué à plusieurs sites, un calcul supplémentaire doit être effectué pour déterminer l'effet d'ensemble.

On trouvera dans l'*annexe 8-1* une brève description des principaux tests statistiques pertinents à l'évaluation des projets routiers. Le *tableau 8-5* présente la liste de ces tests ainsi que leurs conditions d'utilisation.

Tableau 8-5 Tests statistiques décrits à l'annexe 8-1

TEST	DESCRIPTION
STUDENT (t-TEST)	Ce test sert à déterminer si la moyenne d'un échantillon de données est significativement différente de celle d'un autre échantillon de données.
KOLMOGOROV-SMIRNOV	Ce test bilatéral détermine si deux échantillons de données ont été extraits de la même population.
k	Ce calcul permet de déterminer comment les fréquences observées à un site donné (accidents par exemple) ont été modifiées par rapport à un ensemble de données de contrôle.
CHI-DEUX	Ce test est utilisé pour déterminer si un changement (fréquences d'accidents par exemple) peut être attribuable à un traitement ou au hasard.

8.4 ÉVALUATION ÉCONOMIQUE

On a vu, au **chapitre 7**, que l'évaluation de tout projet devait comprendre une comparaison des avantages et des coûts attendus d'un projet. Même si une intervention ne doit en principe influencer qu'un groupe précis d'accidents, l'ensemble des accidents est généralement pris en compte lors de cette évaluation, au cas où la mesure effectuée aurait eu un effet imprévu sur d'autres types d'accidents.

L'**annexe 1** de ce chapitre décrit comment estimer l'effet que peuvent avoir des interventions de sécurité sur les accidents. Supposons par exemple, qu'une réduction de 68 % ait été estimée (c'est le résultat obtenu pour l'exemple du **test k** de l'annexe 1). Si le site en question était l'un des pires du district, il faut prévoir un facteur de correction pour tenir compte de l'effet de la régression vers la moyenne. En supposant que cette correction soit de 11 % (voir **tableau 8-4**), la meilleure évaluation de la réduction réelle d'accidents est donc dans ce cas de 57 % (68 % - 11 %).

Ce qui représente (toujours pour ce même exemple), une réduction de 11,4 accidents pour la période à l'étude (ou 3,8 accidents par an).

Dans cet exemple, seuls les accidents avec blessures ont été considérés. Si des accidents avec dommages matériels seulement ont été rapportés de façon fiable et que ces accidents ont aussi diminué, il faut aussi en tenir compte dans le calcul des coûts. Mais dans bien des pays, ce type d'accidents est rapporté de façon irrégulière et la fiabilité de ces données doit donc être vérifiée.

Si on utilise le montant de 79 330 \$ mentionné au chapitre précédent comme coût moyen d'un accident, le montant économisé grâce aux accidents évités est de 301 454 \$ par an. En comparaison au coût des travaux, de 298 000 \$ et en supposant que les effets sur la circulation sont mineurs, le taux de rendement de la première année (TRIM) est donc égal à :

$$\text{TRIM} = 301\,454 / 298\,000 \times 100 = 101,2 \%$$

Cette valeur de 101 % fournit une certaine indication quant à l'efficacité possible de ce type d'intervention.

Les autres critères d'évaluation économique qui ont été décrits au chapitre précédent pourraient aussi être utilisés. On pourrait par exemple calculer la valeur actuelle nette (VAN) de ce projet ce qui pourrait s'avérer particulièrement utile si l'on sait que des coûts d'entretien seront liés à l'ouvrage réalisé.

Ce n'est uniquement en procédant à de telles évaluations et en colligeant les résultats obtenus qu'il devient possible de développer et mettre à la disposition de toutes les administrations routières du pays, une base de données sur l'efficacité de différentes mesures correctives.

8.5 EFFICACITÉ D'ENSEMBLE ET STRATÉGIE FUTURE

Ce chapitre a décrit des méthodes pouvant être utilisées pour évaluer l'effet de mesures spécifiques. Pour faire connaître ces résultats, l'administration routière peut demander aux différentes unités de sécurité routière de préparer, sur une base régulière, un document de stratégie qui présente ses principales réalisations en matière de sécurité ainsi que les projets envisagés.

Un sommaire de ce rapport devrait être intégré au plan d'action national en sécurité routière du pays. On y présente généralement, à titre d'information de base, des sommaires statistiques d'accidents qui sont regroupés par province, district ou municipalité et répartis en différentes catégories, par exemple par classes d'usagers, catégories de routes, etc. Ces informations sont utiles non seulement pour mettre en évidence les principales priorités d'actions mais aussi parce qu'elles permettent d'évaluer l'effet d'interventions à grande échelle, (campagnes de sécurité, changements législatifs, etc.).

Cependant, comme les interventions au niveau de l'infrastructure sont le plus souvent localisées, il pourra s'avérer difficile d'en déterminer l'effet à partir de l'analyse de données globales d'accidents. Conséquemment, il faudrait sans doute préférer une liste sommaire qui décrive l'efficacité de travaux à faibles coûts (p. ex. tableau 8-6). Un tel tableau peut s'avérer plus utile qu'un seul montant global car il montre l'ensemble des interventions qui ont été mises en œuvre et le succès relatif de chacune d'elles. La publication officielle des réalisations passées et des projets anticipés dans un plan annuel de sécurité contribue non seulement à accroître l'imputabilité des unités de sécurité routière au sein de l'administration routière mais aide en outre à concentrer les efforts vers l'atteinte d'un objectif de réduction d'accidents à long terme. De plus, ce document aide aussi à disséminer des renseignements utiles aux autres groupes de travail, qui peuvent de cette façon constater l'efficacité des mesures correctives.

Tableau 8-6 Exemple – Liste sommaire d'interventions locales (pour un document de stratégie)

LIEU D'INTERVENTION	NOMBRE D'ACCIDENTS (3 ANS AVANT TRAVAUX)	DATE DES TRAVAUX	COÛT (£)	TAUX DE RENDEMENT ÉCONOMIQUES		NOMBRE D'ACCIDENTS (3 ANS APRÈS TRAVAUX)	ÉCONOMIES NETTES EN COÛTS D'ACC. À CE JOUR (£)
				TRIM ANTICIPÉ	TR DEPUIS LES TRAVAUX (3 ANS)		
C111 BROADWAY/SHEEP DIP LANE, DUNSCROFT	8	févr. an1	7 218	146 %	1 066 %	2	660 115
A630 WARMSWORTH Rf/BARRELL	16	janv. an2	12 000	205 %	1 283 %	4	966 413
C765 GRANGE LANE/QUEEN MARY'S RD, ROSSINGTON	7	févr. an2	1 322	1 113 %	4 854 %	2	407 205
A630 TRAFFORD WAY	13	févr. an2	14 000	137 %	825 %	4	561 896
A6023 MEXBROUGH RELIEF RD/STATION RD	12	févr. an2	4 050	540 %	3 168 %	2	778 783
A638/LEISURE CENTRE ROUNDABOUT	10	avr. an3	1 100	504 %	7 000 %	4	338 983
A638/A18/C444 RACE-COURSE ROUNDABOUT (TEMP.)	27	août an3	3 000	11 170 %	3 293 %	15 (28 mois)	228 000
B1220 CHURCH LANE/ADWICK LANE, ADWICK-LE-STREET	12	oct. an3	4 485	426 %	2 289 %	4	332 390
A638 GREAT NORTH RD (BAWTRY CARAVANS)	8	nov. an3	3 360	723 %	382 %	7	69 020
C445 THOME RD/C676 TOWN MOOR AVENUE	8	déc. an3	4 000	450 %	- 329 %	9	- 21 666
GOODISON BOULEVARD, CANTLEY	3	janv. an4	1 530	395 %	1 678 %	0	10 890
A631 TICKHILL RD, BAWTRY	5	mars an4	1 360	720%	3 775%	1	200 675

Abréviations : TRIM = Taux de rentabilité immédiate; TR = Taux de rendement

RÉFÉRENCES

- Abbess, C.D. Jarrett et Wright, C.C. (1981)** *Accidents at blackspots: estimating the effectiveness of remedial treatment*, with special reference to the “regression-to-mean” effect. *Traffic Engineering & Control*, V22, N10., pp. 532-542
- Adams, J. (1985)** *Risk and freedom: the record of road safety regulation*, Cardiff, Transport Publishing Projects.
- Asmussen, E. (1983)** *International calibration study of traffic conflict techniques*. NATO ASI Series F, V5, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Boyle, A.J. et Wright, C.C. (1984)** *Accident 'migration' after remedial treatment at accident blackspots*, *Traffic Engineering and Control*, V25, N5, pp. 260-267.
- Glauz, W.D. et Migletz, D.J. (1980)** *Application of traffic conflict analysis at intersections*, NCHRP Report 219, Kansas City, Midwest Research Institute.
- Grayson, G.B. (1996)** *Behavioural adaptation: a review of the literature*, TRL Report 254, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Hauer, E. et Byer, P. (1983)** *Bias-by-selection: the accuracy of an unbiased estimator*, *Accident Analysis & Prevention*, V15, N5, pp. 323-328.
- Hauer, E. (1992)** *How to do a before-and-after study: estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety*, Lecture notes: Transport Canada Workshop, Ottawa, Canada
- Kulmala, R. (1994)** *Measuring the safety effect of road measures at junctions*. *Accident Analysis & Prevention* V26, N6, pp. 781-794.
- Maher, M.J. et Mountain, L.J. (1988)** *The identification of accident blackspots: a comparison of current methods*, *Accident Analysis & Prevention*, V20, N2.
- Mountain, L. et Fawaz, B. (1992)** *The effects of engineering measures on safety at adjacent sites*, *Traffic Engineering & Control*, V33, N1, pp. 15-22.
- Mountain, L., Fawaz, B. et Sineng, L. (1992)** *The assessment of changes in accident frequencies on link segments: a comparison of four methods*, *Traffic Engineering & Control*, V33, N7.
- Ogden, K.W. (1996)** *Safer Roads*, 516 p. Avebury Technical.
- Persaud, B. (1987)** *Migration of accident risk after remedial treatment at accident blackspots*, *Traffic Engineering & Control*, V28, N1, pp. 23-26.
- Radin Umar, R.S., Mackay, G.M. et Hills, B.L. (1995)** *Preliminary analysis of motorcycle accidents: short-term impacts of the running headlights campaign and regulation in Malaysia*, *Journal of Traffic Medicine*.
- Taylor, M.C., Lynam, D.A. et Baruya, A. (2000)** *The effects of driver speed on the freeway of road accidents*, TRL Report 421, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Transport Research Laboratory (1987)** *Highway safety: the traffic conflict technique guidelines*, London: Institute of Highways and Transportation.
- Trimpop, R.M. et Wilde, G.J.S. (1994)** *Challenges to accident prevention: the issue of risk compensation behaviour*, Groningen, The Netherlands : STYX Publications.
- Vasco, C.K. (2000)** *Highway authority Ghana road safety workshop*, Accra, National road safety strategy (Ghana).
- Wilde, G.J.S. (1978)** *Theory of risk composition in accident causation and its practical consequences for the prevention of accidents*, (In German) *Hefte zur Unfallheikunde* 130, 134-56.
- Wright, C.C., Abbess, C.R. et Jarrett, D.F. (1988)** *Estimating the regression-to-mean effect associated with road accident blackspot treatment: towards a more realistic approach*, *Accident Analysis & Prevention*, V20, N3, pp. 199-214.
- Wright, C. C. et Boyle, A. J. (1987)** *Road accident causation and engineering treatment: a review of current issues*. *Traffic Engineering & Control*, V28, N9, pp. 475-479.

ANNEXE 8-1

Tests statistiques

TEST *t* (DE STUDENT) - COMPARAISON DE MOYENNES D'ÉCHANTILLONS

(p. ex. échantillons de mesures de vitesses)

Pour savoir si la vitesse moyenne d'un échantillon de mesures de vitesses est significativement différente de celle d'un autre échantillon (mesures effectuées avant et après intervention par exemple), il est approprié d'effectuer un test de Student bilatéral, en posant comme hypothèse que les variances des 2 échantillons de données sont extraites d'une même population. L'hypothèse nulle est donc qu'il n'y a pas de différence entre les moyennes (c.-à-d. la vitesse des conducteurs n'a pas été influencée par l'intervention). Il faut au préalable calculer l'écart type de la différence entre ces moyennes. On a :

$$t = \frac{\bar{a} - \bar{b}}{\sigma} \sqrt{\frac{n_a \times n_b}{n_a + n_b}} \quad [\text{Eq. 8-1}]$$

où :

$$\bar{b} = \frac{\sum(b_i)}{n_b} \quad \bar{a} = \frac{\sum(a_i)}{n_a}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(a_i^2) - \frac{(\sum(a_i))^2}{n_a} + \sum(b_i^2) - \frac{(\sum(b_i))^2}{n_b}}{(n_a + n_b - 2)}}$$

b_1, b_2, \dots, b_{n_b} les données de vitesse *avant*

a_1, a_2, \dots, a_{n_a} les données de vitesse *après*

n_b = nombre de lectures *avant*

n_a = nombre de lectures *après*

Il faut alors comparer la valeur calculée de t à celle de la distribution t (**tableau 8-A1**), pour $(n_a + n_b - 2)$ degrés de liberté (ν). Si cette valeur de t calculée dépasse celle du niveau 5 % (colonne $t = 0,05$), on peut alors conclure que la vitesse moyenne a changé, à un niveau de confiance de 95 %.

Exemple

Supposons que pour un relevé de vitesses, les résultats obtenus sont :

<u>avant intervention</u>		<u>après intervention</u>	
n_b	= 210	n_a	= 220
\bar{b}	= 37 km/h	\bar{a}	= 33 km/h
$\sum b_i$	= 7 770	$\sum a_i$	= 7 260
$\sum (b_i)^2$	= 291 142	$\sum (a_i)^2$	= 243 760

Selon l'équation 8-1 :

$$\sigma = \sqrt{\frac{243\,760 - (7\,260)^2/220 + 291\,142 - (7\,770)^2/210}{220 + 210 - 2}} \quad \sigma = 4,278$$

$$t = \frac{33 - 37}{4,278} \sqrt{\frac{220 \times 210}{220 + 210}} \quad t = 9,692$$

$$\nu = 220 + 210 - 2 \quad \nu = 428$$

Comme la valeur calculée de t (9,69) est largement supérieure à 1,96 (grand nombre de degrés de liberté), nous pouvons conclure que la différence de vitesses moyennes (réduction de 4 km/h) est significative au niveau de confiance de 5 %.

Le calcul peut s'effectuer à l'aide de l'utilitaire [TEST t] .

Autres

Tests de distributions

Kolmogorov-Smirnov Test t (bilatéral)

Données

Individuelles Classes Sommaire

Avant **Après**

n_b : 210 n_a : 220

Σb_i : 7770,0 Σa_i : 7260,0

$\Sigma (b_i)^2$: 291142,0 $\Sigma (a_i)^2$: 243760,0

Niveau de confiance : 95 %

Calculer

Série #1 Série #2

Moyenne : 37,00 33,00

t calculé : -9,692

$t_{428; 0,05}$: -1,96

La moyenne a diminué.

Tableau 8-A1 Table de la distribution t (Student)

DEGRÉS DE LIBERTÉ	t				
	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	6,314	1,706	31,821	63,657	636,619
2	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
30	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

TEST DE KOLMOGOROV - SMIRNOV

Le test « bilatéral » Kolmogorov-Smirnov permet de déterminer si deux échantillons indépendants sont tirés d'une même population (ou de populations ayant une même distribution). Dans certains cas, deux ensembles de données auront une même moyenne mais une dispersion différente, ce qui peut entraîner des problèmes de sécurité. Si les deux échantillons ont effectivement été tirés d'une même population (hypothèse nulle), on peut alors s'attendre à ce que les distributions cumulatives des deux échantillons soient rapprochées l'une de l'autre, et ne devraient donc montrer qu'un écart aléatoire par rapport aux distributions de population. Si au contraire les deux distributions cumulatives d'échantillons s'éloignent trop l'une de l'autre en un point quelconque, on peut supposer qu'elles ont été tirées de populations différentes. Un écart assez important entre ces deux distributions d'échantillons justifie donc le rejet de l'hypothèse nulle.

Soit $S_{N_a}(x)$ la fonction échelon cumulative observée pour le premier échantillon de vitesse : alors $S_{N_a}(x) = K/N_a$ où K représente le nombre de véhicules égal ou inférieur à x km/h et N_a , le nombre total de véhicule dans l'échantillon. Soit également $S_{N_b}(x)$ la fonction échelon cumulative du second échantillon. Le test bilatéral de Kolmogorov-Smirnov s'intéresse à l'écart maximal D .

$$D = \text{maximum} |S_{N_a}(x) - S_{N_b}(x)| \quad [\text{Eq. 8-A2}]$$

Pour des échantillons importants ($N > 40$), les tables de Kolmogorov-Smirnov montrent que la valeur de D doit évaluer ou dépasser la valeur suivante pour rejeter l'hypothèse nulle à un niveau de 5%, (c'est-à-dire qu'ils ne sont pas de la même population) :

$$1,36 \times \sqrt{\frac{N_a + N_b}{N_a N_b}} \quad [\text{Eq. 8-A3}]$$

Le test « unilatéral » détermine si les deux échantillons proviennent d'une même population ou si les valeurs d'un échantillon sont supérieures à celles de la population d'où l'autre échantillon a été tiré. Ici encore, on calcule l'écart maximal à l'aide de l'équation (Eq. 8-A2) et la signification statistique de la valeur de D est déterminée en se référant à la distribution de chi-deux.

Pour des échantillons importants, la statistique suivante a une distribution d'échantillonnage qui est approximativement égale à une distribution de chi-deux à deux degrés de liberté (voir table de chi-deux au **tableau 8-A2**).

$$\chi^2 = 4D^2 \frac{N_a N_b}{N_a + N_b} \quad [\text{Eq. 8-A4}]$$

[TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV 

Tableau 8-A2 Table du χ^2

DEGRÉS DE LIBERTÉ ν	0,99	0,98	0,95	0,90	0,50	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,000	0,001	0,004	0,015	0,455	2,710	3,840	5,410	6,640	10,830
2	0,020	0,040	0,103	0,211	1,386	4,610	5,990	7,820	9,210	13,820
3	0,115	0,285	0,352	0,584	2,366	6,250	7,820	9,840	11,340	16,270
4	0,297	0,429	0,711	1,064	3,357	7,780	9,490	11,670	13,280	18,470
5	0,554	0,752	1,145	1,610	4,351	9,240	11,070	13,390	15,090	20,520
6	0,872	1,134	1,635	2,204	5,350	10,650	12,590	15,030	16,810	22,460
7	1,239	1,564	2,167	2,833	6,350	12,020	14,070	16,620	18,480	24,320
8	1,646	2,032	2,733	3,490	7,340	13,360	15,510	18,170	20,090	26,130
9	2,088	2,532	3,325	4,168	8,340	14,680	16,920	19,680	21,670	27,880
10	2,558	3,059	3,940	4,865	9,340	15,990	18,310	21,160	23,210	29,590
11	3,050	3,610	4,570	5,580	10,340	17,280	19,680	22,620	24,730	31,260
12	3,570	4,180	5,230	6,300	11,340	18,550	21,030	24,050	26,220	32,910
13	4,110	4,760	5,890	7,040	12,340	19,810	22,360	25,470	27,690	34,120
14	4,660	5,370	6,570	7,790	13,340	21,060	23,690	26,870	29,140	36,120
15	5,230	5,990	7,260	8,550	14,340	22,310	25,000	28,260	30,580	37,700
16	5,810	6,610	7,960	9,310	15,340	23,540	26,300	39,360	32,000	39,250
17	6,410	7,260	8,670	10,090	16,340	24,770	27,590	31,000	33,410	40,790
18	7,020	7,910	9,390	10,870	17,340	25,990	28,870	32,350	34,810	42,310
19	7,630	8,570	10,120	11,650	18,340	27,200	30,140	33,690	36,190	43,820
20	8,260	9,240	10,850	12,440	19,340	28,410	31,410	35,020	37,570	45,320
21	8,900	9,910	11,590	13,340	20,340	29,610	32,670	36,340	38,930	46,800
22	9,540	10,600	12,340	14,040	21,340	30,810	33,920	37,660	40,290	48,270
23	10,200	11,290	13,090	14,850	22,340	32,010	35,170	38,970	41,640	49,730
24	10,860	11,990	13,850	15,660	23,340	33,200	36,420	40,270	42,980	51,180
25	11,520	12,700	14,610	16,470	24,340	34,380	37,650	41,570	44,310	52,620
26	12,200	13,410	15,380	17,290	25,340	35,560	38,890	42,860	45,640	64,050
27	12,880	14,120	16,150	18,110	26,340	36,740	40,110	44,140	46,960	55,480
28	13,560	14,850	16,930	18,940	27,340	37,920	41,340	45,420	48,280	56,890
29	14,260	15,570	17,710	19,770	28,340	39,090	42,560	46,690	49,590	58,300
30	14,950	16,310	18,490	20,600	29,340	40,260	43,770	47,960	50,890	59,700
40	22,164	23,838	26,509	29,051	39,335	51,805	55,759	60,436	63,691	73,402
50	29,707	31,664	37,689	37,689	49,335	63,167	67,505	72,613	76,154	86,661
60	37,485	39,699	43,188	46,459	59,335	74,397	79,082	84,580	88,379	99,607
70	45,442	47,839	51,739	55,329	69,334	85,527	90,531	96,388	100,425	112,317
80	53,539	56,213	60,391	64,278	79,334	96,578	101,880	108,069	112,239	124,839
90	61,754	64,634	69,126	73,291	89,334	107,565	113,145	119,646	124,116	137,208
100	70,065	73,142	77,929	82,358	99,334	118,498	124,342	131,142	135,807	149,449

TEST k

Le test k permet de déterminer comment les accidents ont changé à un site donné en prenant en considération les données d'accidents à un groupe de sites contrôle.

Pour un site quelconque ou un groupe de sites ayant subi un même traitement :

$$k = \frac{b/a}{d/c} \quad [\text{Eq. 8-A5}]$$

où :

a = accidents au site-avant
 b = accidents au site-après
 c = accidents aux sites de contrôle-avant
 d = accidents aux sites de contrôle-après

si $k < 1$, il y a eu diminution des accidents relativement aux données de contrôle;

si $k = 1$, il n'y a eu aucun changement relativement aux données de contrôle;

si $k > 1$, il y a eu augmentation relativement aux données de contrôle.

Si l'une des fréquences est égale à zéro, il faut alors ajouter $\frac{1}{2}$ à chaque fréquence. Dans ce cas :

$$k = \frac{(b + \frac{1}{2}) \times (c + \frac{1}{2})}{(a + \frac{1}{2}) \times (d + \frac{1}{2})} \quad [\text{Eq. 8-A6}]$$

L'équation suivante permet de calculer le pourcentage de changement au site :

$$(k - 1) \times 100 \% \quad [\text{Eq. 8-A7}]$$

Exemple

Le tableau 8-A3 montre les fréquences d'accidents corporels à un site en milieu semi-urbain qui était à l'origine une intersection en T avec arrêt et qui a été transformée en carrefour giratoire il y a trois ans. Les données de contrôle utilisées sont les accidents survenus à toutes les autres intersections avec arrêts du district, pour des périodes avant et après identiques de trois ans.

Tableau 8-A3 Fréquences d'accidents corporels au site traité et aux sites de contrôle

	SITE	CONTRÔLE	TOTAL
AVANT	20 _(a)	418 _(c)	438 _(g)
APRÈS	6 _(b)	388 _(d)	394 _(h)
TOTAL	26 _(e)	806 _(f)	832 _(n)

La notation et les équations utilisées sont celles qui sont indiquées ci-dessus :

$$k = \frac{6/20}{388/418} = 0,32$$

Puisque $k < 1$, il y a eu diminution des accidents au site par rapport aux sites de contrôle. Le pourcentage de réduction est, dans cet exemple, de 68 % :

$$(k - 1) \times 100 \% = 68 \%$$

Le calcul peut s'effectuer à l'aide de l'utilitaire de calcul « *tests avant-après (site individuel)* ».

Fréquence d'accidents observée			
	Site	Contrôle	Total
Avant	20	418	438
Après	6	388	394
Total	26	806	832

Effet de l'intervention

Modification d'accidents calculée : **-67,7 %**
 (test k)

Probabilité de modification réelle : **97,9 %**
 (test du chi-deux)

TEST DU CHI-DEUX

Ce test permet de déterminer si un changement est attribuable à un traitement ou s'il est dû au hasard et aurait pu se produire même si rien n'avait été fait. Il fait appel à une table de contingence montrant les valeurs observées pour un ensemble de données (O) et les valeurs espérées (E) si la distribution statistique n'avait pas changé. La statistique du chi-deux s'obtient en calculant :

$$\chi^2 = \sum_{i=1, j=1}^{n, m} \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad [\text{Eq. 8-A8}]$$

où :

O_{ij} est la valeur observée dans la colonne j, ligne i de la table
 E_{ij} la valeur espérée dans la colonne j, ligne i de la table
 m le nombre de colonnes
 n le nombre de lignes

On recherche alors cette valeur dans une table du chi-deux, qui indique la probabilité que les valeurs attendues et observées proviennent d'une même population. Il faut aussi connaître le nombre de degrés de liberté, qui correspond à :

$$\text{degrés de liberté, } \nu = (n - 1)(m - 1)$$

Pour une étude d'accidents avec groupe de sites de contrôle et périodes similaires avant et après le traitement, on a une table de contingence 2 x 2 (2 colonnes et 2 lignes, avec un degré de liberté). Pour que le test soit valide, toutes les cellules de cette table doivent avoir une valeur minimale de 5.

En utilisant la notation du **tableau 8A3**, on peut calculer le chi-deux au moyen de l'équation suivante :

$$\chi^2 = \frac{(|ad - bc| - \frac{n}{2})^2 \times n}{efgh} \quad [\text{Eq. 8-A9}]$$

Le résultat obtenu est alors comparé aux valeurs de la table du chi-deux du **tableau 8A2**, à un degré de liberté ($\nu = 1$); si le résultat du calcul de l'équation 8-A9 est supérieur à la valeur lue dans la table, le changement est dit statistiquement significatif, pour le niveau de confiance considéré.

Exemple

À partir des données de l'exemple précédent et de l'équation 8-A9 on obtient :

	SITE	CONTRÔLE	TOTAL
AVANT	20 ^(a)	418 ^(c)	438 ^(g)
APRÈS	6 ^(b)	388 ^(d)	394 ^(h)
TOTAL	26 ^(e)	806 ^(f)	832 ⁽ⁿ⁾

$$\chi^2 = \frac{(|20 \times 388 - 6 \times 418| - 832/2)^2 \times 832}{26 \times 832 \times 438 \times 394}$$

$$\chi^2 = 5,38$$

La table de chi-deux (**tableau 8A2**) indique que pour un degré de liberté ($\nu = 1$), la valeur de 5,38 se trouve entre 3,84 et 5,41, ce qui correspond à un niveau de confiance entre 0,05 et 0,02.

En d'autres termes, la probabilité que le changement d'accidents observé soit attribuable à une variation aléatoire n'est que de 5 %, soit 1 chance sur 20. La probabilité qu'un réel changement se soit produit dans la fréquence d'accidents à cette intersection est de 97,9 %. Un niveau de confiance de 5 % est généralement reconnu comme étant une indication sûre de l'efficacité de la mesure corrective, mais même un niveau de 10 % peut être considéré comme étant acceptable.

[TEST DU CHI-DEUX 

GROUPE DE SITES AYANT REÇU UN MÊME TRAITEMENT

Dans le cas d'un nombre de sites N ayant reçu le même traitement, le calcul de l'effet d'ensemble est plus complexe puisqu'il faut résoudre l'équation suivante pour κ , pour tous les sites, c'est-à-dire avec $i = 1$ à N. Les autres symboles sont les mêmes que dans les équations précédentes.

$$\sum_{i=1}^N \frac{a_i + b_i}{1 + \kappa \left(\frac{d_i}{c_i} \right)} = \sum a_i \quad [\text{Eq. 8-A10}]$$

On utilise pour ce test le logarithme naturel de cette variable qui a une distribution plus symétrique (compatible aux traitements statistiques standards) et l'écart-type de $\log_e \kappa$ peut être approximé à l'aide de l'équation suivante :

$$\sigma_{(\log_e \kappa)} = \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{2}{\sum (a_i + b_i)} \right)}{\sum \frac{(a_i + b_i) \times d_i / c_i}{(1 + d_i / c_i)}}} \quad [\text{Eq. 8-A11}]$$

On calcule ensuite le ratio suivant :

$$\frac{(\log_e \kappa)}{\sigma_{(\log_e \kappa)}} \quad [\text{Eq. 8-A12}]$$

Si cette valeur s'écarte des valeurs limites $\pm 1,96$ (test-t de Student), alors le changement est considéré statistiquement significatif (à un niveau de confiance de 95 %).

Pour déterminer ensuite si les changements aux sites traités produisent effectivement le même effet sur les fréquences d'accidents, il faut calculer la valeur chi-deux suivante.

$$\chi^2 = \sum \frac{\left[(b_i + \kappa a_i) \times \frac{d_i}{c_i} \right]^2}{\kappa (a_i + b_i) \times \frac{d_i}{c_i}} \quad [\text{Eq. 8-A13}]$$

Si cette valeur est significative, avec N-1 degrés de liberté (d'après la (N-1)^{ème} ligne de la table du chi-deux, où N représente le nombre de sites traités), c'est que les changements aux sites ne produisent pas le même effet. Si au contraire elle n'est pas significative, alors il est probable que les changements produisent effectivement le même effet.

[TEST AVANT-APRÈS (GROUPE DE SITES) ]

CORRECTION DE LA RÉGRESSION VERS LA MOYENNE

Pour corriger l'effet de la régression vers la moyenne, il faut estimer le *niveau de sécurité* (c.-à-d. la fréquence moyenne d'accidents à long terme). Plusieurs statisticiens ont proposé des méthodes pour ce faire. Ainsi, Hauer (1992) suggère de faire appel aux méthodes empiriques bayésiennes pour estimer le niveau de sécurité, et d'utiliser ensuite cette valeur – plutôt que les fréquences d'accidents observées – dans les analyses de sécurité. Abbess et al. (1981) avaient au préalable décrit une méthode plus simple qui peut être utilisée pour corriger le biais résultant de la régression vers la moyenne, en se basant sur certaines hypothèses de distribution statistique des accidents.

Il faut recueillir les données d'accidents à des sites qui sont semblables au site traité, pour des périodes identiques et on calcule, à partir de cet ensemble de données, la fréquence moyenne d'accidents, a , et la variance d'accidents $var(a)$. L'équation suivante permet de calculer l'effet de la régression vers la moyenne R (en %) :

$$R = \left(\frac{(A_t + A)n}{(n_t + n)A} - 1 \right) \times 100 \quad [\text{Eq. 8-A14}]$$

où :
 A = fréquence d'accidents au site
 n = nombre d'années

$$A_t = \frac{a^2}{(var(a) - a)} \quad [\text{Eq. 8-A15}]$$

$$n_t = \frac{a}{(var(a) - a)} \quad [\text{Eq. 8-A16}]$$

A_t et n_t sont les estimés des paramètres de la distribution statistique antérieure, c'est-à-dire la distribution probable de la fréquence d'accidents avant l'obtention des données. On suppose ici que le site à l'étude se comportera de façon semblable en termes d'accidents, à l'ensemble de tous les autres sites similaires.

[RÉGRESSION VERS LA MOYENNE ]

Exemple

Soit une intersection où il s'est produit en moyenne 15 accidents par année sur une période de cinq ans. L'intersection a été élargie, une nouvelle signalisation avec arrêts et des îlots séparateurs ont été implantés et après ces travaux, il s'y est produit en moyenne 10 accidents par année sur une période de temps similaire.

Pour corriger l'effet de la régression vers la moyenne, il faut choisir d'autres intersections sans contrôle, ayant des débits de circulation similaires. Si de tels sites avaient une moyenne de 12,6 accidents par an et une variance de 2,91, on obtient :

$$\begin{aligned} a &= 12,6 \text{ accidents/an} \\ var(a) &= 2,91 \text{ (accidents/an)}^2 \\ A &= 75 \text{ accidents/5ans} \\ n &= 5 \text{ ans} \\ A_t &= 12,6^2 / (2,91 - 12,6) = -16,38 \\ n_t &= 12,6 / (2,91 - 12,6) = -1,3 \end{aligned}$$

L'effet de la régression vers la moyenne est donc :

$$R = \left(\frac{(-16,38 + 75) 5}{(-1,3 + 5) 75} - 1 \right) \times 100$$
$$R = 5,6 \%$$

En d'autres termes, on aurait pu s'attendre à une diminution de 5,6 % des accidents au site durant la période après même si aucune intervention n'y avait été effectuée, soit une fréquence de 14,16 accidents par an. C'est ce nombre de 14,16 accidents/an qu'il faut comparer aux 10 accidents/an qui se sont effectivement produits après intersection pour déterminer si la réduction de la fréquence d'accidents attribuable aux améliorations est statistiquement significative ou non.

PARTIE 3

Fiches techniques

TRACÉ EN PLAN **ALIGNEMENT HORIZONTAL**

Fiche technique

Carl Bélanger et Patrick Barber

TRACÉ EN PLAN – ALIGNEMENT HORIZONTAL

Fiche technique

	Page
TRACÉ EN PLAN	320
→ Résumé	324
→ Rayon (ou degré) de courbure	326
→ Différentiels de vitesses	330
→ État de la surface de roulement	331
→ Renversement	335
→ Dévers	336
→ Largeur de la route	337
→ Accotements	338
→ Abords de route - Distance de visibilité	339
→ Abords de route - Route qui pardonne	340
→ Dépassement	342
→ Signalisation et autres dispositifs d'avertissement	343
→ Combinaisons de caractéristiques	344
RÉFÉRENCES	345
ANNEXES	347
→ Annexe TP-1 Dynamique des courbes horizontales	348
→ Annexe TP-2 Géométrie des courbes horizontales circulaires	349
→ Annexe TP-3a Calcul des différentiels de vitesses (LAMM et al.)	350
→ Annexe TP-3b Calcul des différentiels de vitesses (Espagne)	352
→ Annexe TP-4 Abords de route et visibilité en courbe horizontale	353

LISTE DES FIGURES		
Figure TP-1	Exemples – Séquences de courbes horizontales	324
Figure TP-2	Six types de trajectoires en courbe	324
Figure TP-3	Système de forces en courbe	326
Figure TP-4	Rayon de courbure minimal et vitesse de conception	326
Figure TP-5	Fréquence d'accidents et rayon de courbure	327
Figure TP-6	Sinuosité d'une route	327
Figure TP-7	Rayon de courbure irrégulier	327
Figure TP-8	Courbes en spirale	328
Figure TP-9	Qualité d'une séquence de rayons de courbures	330
Figure TP-10	Différentiels de vitesses pratiquées – Utilitaire de calcul	331
Figure TP-11	Taux d'accidents et différentiels de vitesses	331
Figure TP-12	Frottement en courbe horizontale	332
Figure TP-13	Exemple – Mise en portefeuille	334
Figure TP-14	Renversement	335
Figure TP-15	Dévers en courbe	336
Figure TP-16	Développement du dévers	336
Figure TP-17	Largeur de voie requise en courbe	337
Figure TP-18	Taux d'accidents en courbe selon la largeur de chaussée	337
Figure TP-19	Exemples – Problèmes d'entretien des accotements	338
Figure TP-20	Dégagement latéral en courbe	339
Figure TP-21	Détermination graphique de la zone de dégagement latéral en courbe	339
Figure TP-22	Hauteur maximale des objets sur le côté intérieur d'une courbe	339
Figure TP-23	Facteurs d'empiètement	340
Figure TP-24	Étendue latérale d'empiètement	340
Figure TP-25	Arrondissement des pentes de talus	341
Figure TP-26	Exemples – Signalisations d'avertissement adaptées à l'environnement routier	343
Figure TP-27	Signalisations d'avertissement en courbe (Espagne)	343
Figure TP-A1	Forces agissant sur un véhicule en courbe horizontale	348
Figure TP-A2	Géométrie des courbes circulaires	349
Figure TP-A3	Vitesse pratiquée dans la tangente précédente (V_{99})	352
Figure TP-A4	Distance pour accélérer depuis V_{99} dans la courbe précédant la tangente	352
Figure TP-A5	Distance pour décélérer jusqu'à V_{99} dans la courbe à l'étude	352
Figure TP-A6	Distance de visibilité en courbe horizontale	353

LISTE DES TABLEAUX		
Tableau TP-1	Réduction d'accidents (%) liée à une réduction du degré de courbure	329
Tableau TP-2	Qualité de conception – Différentiels de vitesse	330
Tableau TP-3	Qualité de conception – Différentiels de frottement	332
Tableau TP-4	Exemple – Relation entre dévers et vitesse	336
Tableau TP-5	Élargissement en courbe (Royaume-Uni)	337
Tableau TP-6	Réduction d'accidents (%) après élargissement de la voie ou de l'accotement	337
Tableau TP-7	Distances d'arrêt – Automobiles et camions	339
Tableau TP-8	Réduction d'accidents (%) résultant de l'augmentation de la distance de dégagement sur les abords de route	341
Tableau TP-9	Réduction d'accidents (%) résultant de l'adoucissement des pentes de talus en courbe	341
Tableau TP-10	Rayons de courbure à éviter	342
Tableau TP-11	Pourcentage minimal de la route offrant la distance de visibilité de dépassement	342
Tableau TP-A1	Modèles de régression de vitesses pratiquées – Routes rurales à deux voies	350
Tableau TP-A2	Description des paramètres	350

LISTE DES ABRÉVIATIONS

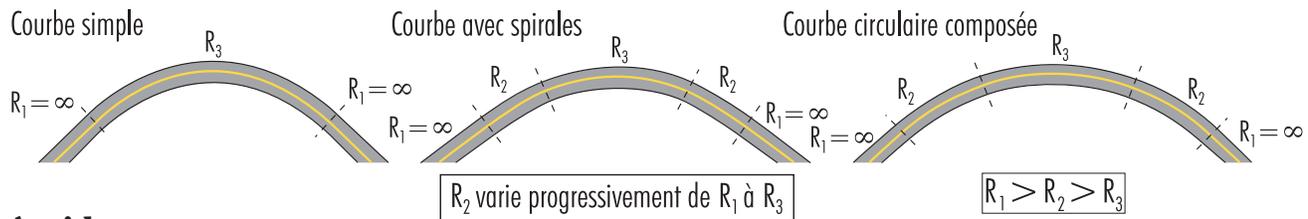
α	=	inclinaison du dévers ($^{\circ}$)
Δ	=	angle de déflexion ($^{\circ}$)
ΔV_{85} , ΔV_{99}	=	différences de vitesses pratiquées aux centiles 85 et 99 (km/h)
A	=	paramètre de courbe en spirale (m)
CCR	=	taux de changement de courbure (gon/km)
DC	=	degré de courbure ($^{\circ}$)
DL	=	dégagement latéral (m)
e	=	dévers
F_c	=	force centrifuge (N)
F_{cp}	=	force centrifuge parallèle à la surface de roulement (N)
F_e	=	force attribuable au dévers (N)
F_t	=	force de frottement transversal (N)
f	=	coefficient de frottement
f_l	=	coefficient de frottement longitudinal
f_r	=	coefficient de frottement requis
f_t	=	coefficient de frottement transversal
f_{td}	=	coefficient de frottement transversal en conception
h	=	hauteur du centre de gravité (m)
L_c	=	longueur de la courbe (m)
L_s	=	distance (courbe en spirale) (m)
L_t	=	longueur de tangente (m)
R	=	rayon de courbure (m)
R_{min}	=	rayon de courbure minimal (m)
S	=	distance d'arrêt (m)
t	=	voie du véhicule (m)
TL_{min}	=	Longueur de tangente nécessaire pour aller d'une vitesse initiale (V_{c1}) à une vitesse finale (V_{c2}) à un taux d'accélération ou de décélération de a ou d
TL_{max}	=	Longueur de tangente pour accélérer d'une vitesse initiale (V_{c1}) à une vitesse désirée (V_{t85}) et pour décélérer à une vitesse finale (V_{c2}) à des taux d'accélération et décélération de a et d
v	=	vitesse (m/s)
V	=	vitesse (km/h)
V_{85}	=	vitesse pratiquée (85 ^e centile) (km/h)
V_{99}	=	vitesse pratiquée (99 ^e centile) (km/h)
V_{c1}	=	vitesse pratiquée dans la courbe 1 (km/h)
V_{c2}	=	vitesse pratiquée dans la courbe 2 (km/h)
V_r	=	vitesse de renversement (km/h)
V_{skid}	=	vitesse de dérapage (km/h)
V_{t85}	=	vitesse désirée (km/h)
V_{tmax}	=	Vitesse maximale atteinte si la longueur de la tangente ne permet pas d'atteindre la vitesse désirée
W	=	poids du véhicule (N)

RÉSUMÉ

Principes de base

Le tracé en plan d'une route se compose de lignes droites, de courbes de rayon constant et de courbes de transition ou clothoïde, dont le rayon change de façon progressive pour faciliter la transition entre des tronçons de route adjacents ayant des rayons de courbure différents. Diverses combinaisons de ces trois composantes de base sont possibles et la figure TP-1 illustre trois séquences fréquentes : courbe simple, courbe avec spirale et courbe composée de plusieurs rayons décroissants.

Figure TP-1 Exemples – Séquences de courbes horizontales



Accidents

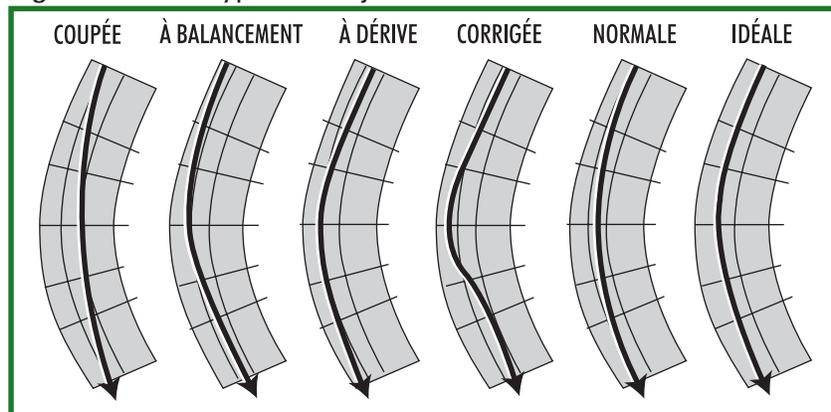
De nombreuses études ont été effectuées dans le but de déterminer le risque associé à la présence de courbes horizontales. Les principaux constats qu'on peut en tirer sont les suivants :

- le taux d'accidents est de 1,5 à 4 fois plus élevé dans les courbes qu'en alignement droit (Zegeer et al., 1992);
- la gravité des accidents dans les courbes est élevée (Glennon et al., 1986). De 25 % à 30 % des accidents mortels s'y produisent (Lamm et al., 1999);
- sur les routes secondaires en milieu rural, qui sont conçues suivant des normes de conception relativement peu élevées, une proportion élevée d'accidents se produit dans les courbes. En France, de 30 % à 40 % de tous les accidents qui surviennent sur les routes nationales en milieu rural se produisent dans des courbes, alors que la proportion équivalente se situe entre 55 % et 60 % sur les routes secondaires (SETRA, 1992);
- près de 60 % des accidents qui surviennent dans les courbes impliquent un véhicule seul quittant la route (Lamm et al., 1999);
- la proportion d'accidents sur chaussée mouillée est élevée dans les courbes horizontales;
- les accidents se produisent surtout aux extrémités des courbes. Council (1998) indique que dans 62 % des accidents mortels et 49 % des autres types d'accidents en courbe, la première manoeuvre à la base de l'accident s'est produite soit à l'entrée ou à la sortie de la courbe.

Plus il faut diminuer de vitesse à l'approche d'une courbe, plus la probabilité d'erreur et d'accident est élevée (empiétement, dérapage, sortie de route, etc.). Le phénomène s'amplifie encore davantage si la réduction de vitesse est imprévue ou soudaine (courbe raide isolée).

Spacek (2000) a dénombré six types de trajectoires suivies par les conducteurs dans les courbes (figure TP-2). Le type « corrigée », qui résulte d'une sous-estimation par le conducteur des caractéristiques de la courbe, entraîne une diminution du rayon balayé par le véhicule, ce qui augmente d'autant le risque d'accident. Des améliorations à la visibilité, lisibilité et signalisation d'avertissement sont de nature à diminuer ce type de problème.

Figure TP-2 Six types de trajectoires en courbe



Source : Spacek, 2000

Observations

Cette fiche technique traite des principales caractéristiques des courbes horizontales devant être vérifiées lors d'une analyse de sécurité :

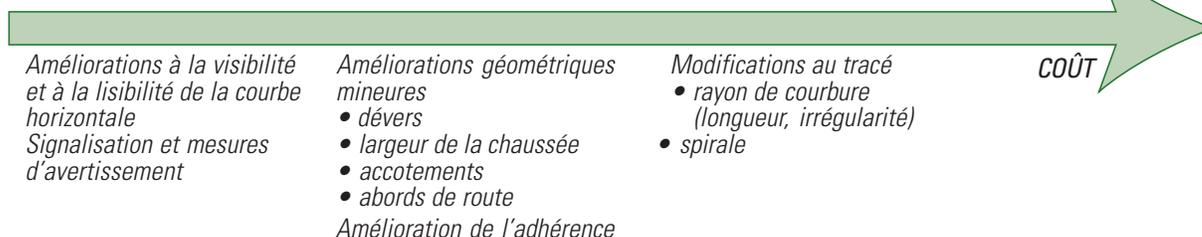
- *rayon (ou degré) de courbure;*
- *différentiels de vitesses;*
- *état de la surface de roulement;*
- *renversement;*
- *dévers;*
- *largeur de la route;*
- *accotements;*
- *abords de route – distance de visibilité;*
- *abords de route – route qui pardonne;*
- *dépassement;*
- *signalisation et autres mesures d'avertissement;*
- *combinaison de caractéristiques.*

Mesures possibles

L'allongement du rayon de courbure est souvent la solution proposée pour diminuer les accidents en courbe horizontale. Il s'agit cependant d'une intervention dont le coût peut être très élevé et il faut donc vérifier son efficacité économique avant d'agir.

D'autres solutions possibles incluent :

- des améliorations aux mesures d'avertissements, afin de mieux prévenir le conducteur de la présence de la courbe : meilleure distance de visibilité, meilleure lisibilité de la courbe, signalisation, marquage, délinéation;
- des améliorations géométriques mineures, incluant des modifications aux caractéristiques des accotements et des abords de route, visant à mieux « pardonner » les erreurs éventuelles des conducteurs.



Mise en garde

Les différentes caractéristiques de l'infrastructure routière ayant un impact sur la vitesse pratiquée - tracé en plan, profil en travers, état des abords de route, distance de visibilité - doivent être bien coordonnées.

L'amélioration d'un élément isolé (p. ex. allongement du rayon de courbure) sans modification aux autres éléments (profil en travers étroit, pente de talus raide, obstacles rigides sur les abords de route) peut avoir un impact négatif sur la sécurité. Il faut de plus s'assurer que l'amélioration d'une courbe et l'augmentation des vitesses qui l'accompagne ne fassent pas que migrer le problème à la prochaine courbe raide.



Emplacement dangereux d'un poteau en courbe horizontale

RAYON (OU DEGRÉ) DE COURBURE

Description

Un véhicule qui circule dans une courbe est poussé vers l'extérieur de la route par l'effet de la force centrifuge. Le frottement transversal (entre les pneus et la surface de roulement) et le dévers s'opposent à cette poussée (figure TP-3). L'intensité de la force centrifuge augmente avec la vitesse, jusqu'à ce qu'elle soit égale à la somme de ces deux forces opposées et il y a alors dérapage :

$$F_c = F_e + F_t \quad [\text{Eq. TP-1}]$$

où :

- F_c = force centrifuge
- F_e = dévers
- F_t = frottement transversal

Certains véhicules ayant un centre de gravité élevé peuvent cependant renverser avant de déraiper (**renversement**).

L'équation TP-1 peut être transformée de façon à obtenir l'équation de base utilisée pour le calcul du rayon de courbure minimal (voir **annexe TP-1**) :

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(e + f_t)} \quad [\text{Eq. TP-2}]$$

où :

- R_{\min} = rayon de courbure minimal (m)
- V = vitesse (km/h)
- e = dévers (m/m)
- f_t = coefficient de frottement transversal

Figure TP-3 Système de forces en courbe

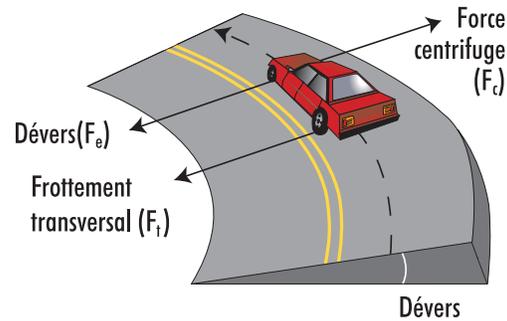
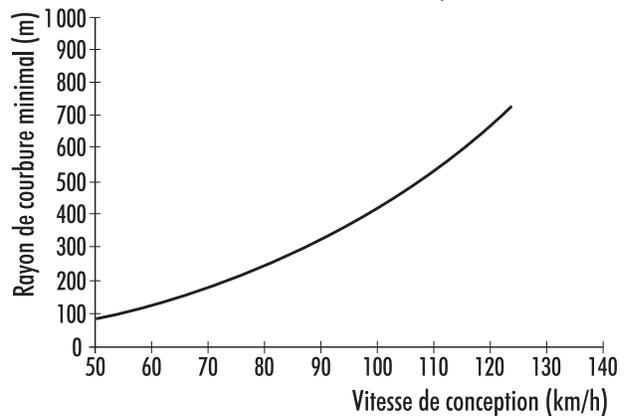


Figure TP-4 Rayon de courbure minimal et vitesse de conception



Source : Krammes et Garnham, 1995

Les valeurs minimales de rayon de courbure utilisées à l'étape de conception routière varient d'environ 100 m pour une vitesse de conception de 50 km/h à environ 500 m pour 100 km/h (figure TP-4).

De tels rayons sont calculés à partir de l'équation TP-2, en utilisant des coefficients de frottement transversal qui sont faibles, ce qui permet de :

- prendre en compte les conditions de conduite difficiles mais non exceptionnelles (chaussée mouillée, pneus usés);
- limiter les allongements trop importants de distances de freinage en courbe;
- assurer le confort relatif des occupants.

L'utilitaire de calcul « Courbe horizontale – Équations de base » montre les interactions entre les différents termes de l'équation TP-2 (rayon de courbure, vitesse, frottement transversal, dévers).

[DISTANCE DE FREINAGE (COURBE) ]

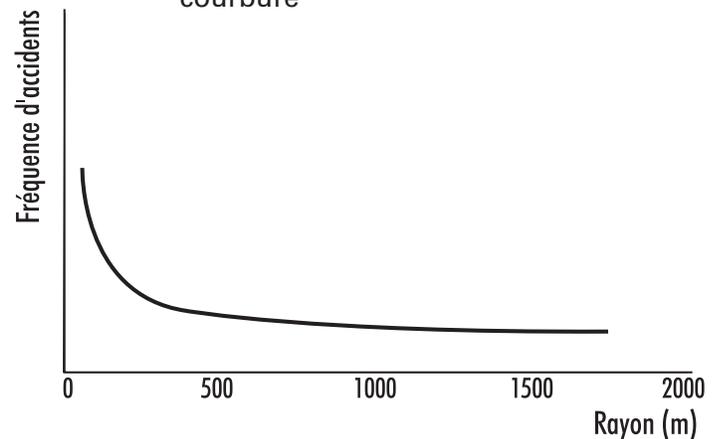
[ÉQUATIONS DE BASE ]

Sécurité

En milieu rural, la fréquence d'accidents augmente à mesure que le rayon de courbure diminue. La relation entre ces deux paramètres prend généralement la forme d'une courbe convexe, tel qu'illustré à la figure TP-5. L'augmentation des accidents devient significative lorsque le rayon de courbure est inférieur à 400 m.

La fréquence d'accidents en courbe n'est pas seulement influencée par les caractéristiques de cette dernière (rayon, angle de déflexion, frottement, dévers, etc.) mais aussi par celles du tracé en plan qui le précède (longueur d'alignement droit avant la courbe, sinuosité générale de la route). Il n'est donc pas étonnant de constater que deux courbes similaires puissent avoir des bilans accidentels différents, selon leur contexte routier.

Figure TP-5 Fréquence d'accidents et rayon de courbure



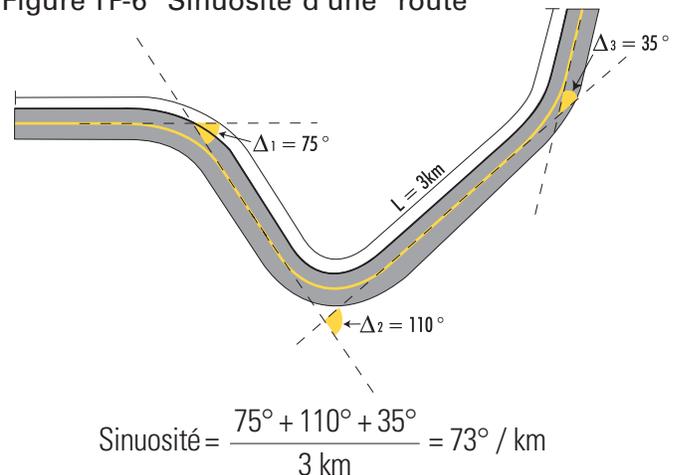
Sinuosité générale d'une courbe¹

La sinuosité générale d'une route a une influence directe sur le niveau d'attention d'un conducteur et ses attentes quant au tracé en plan à venir. Une courbe raide est donc plus problématique sur une route relativement droite que sur une route très sinueuse. La figure TP-6 illustre comment calculer la sinuosité.

¹ Sinuosité : somme des changements de direction (en degrés) par kilomètre.

Note : 1 gon = 0,9°; voir détails à l'[annexe TP-2](#).

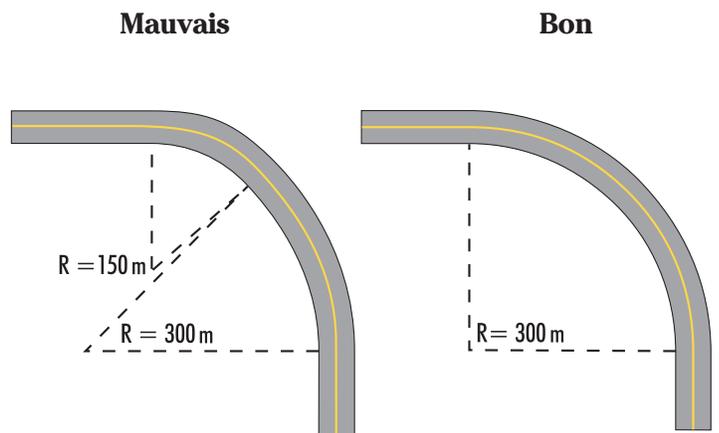
Figure TP-6 Sinuosité d'une route



Rayon de courbure irrégulier

Les changements brusques de rayon à l'intérieur d'une courbe peuvent surprendre les conducteurs et accroître la probabilité d'erreur; il faut donc les éviter. Le risque est plus important si une courbe de rayon court en suit une autre de plus grand rayon. Selon Yerpez et Ferrandez (1986), une réduction de 50 % du rayon de courbure sur une distance de plus de 30 m augmente la fréquence d'accidents. Une courbe de rayon irrégulier peut normalement être modifiée pour obtenir un rayon circulaire uniforme, une clothoïde ou une combinaison des deux, sans qu'il ne soit nécessaire de trop changer le tracé en plan de la route (figure TP-7).

Figure TP-7 Rayon de courbure irrégulier



Courbe en spirale

Les courbes en spirale (aussi appelées courbes de transition ou clothoïdes), constituent le troisième élément d'un tracé en plan, avec les tangentes et les courbes circulaires. Selon Lamm et al. (1999), les principaux avantages des courbes en spirale sont les suivants :

- améliore le confort de conduite en permettant l'augmentation et la diminution naturelles de la force centrifuge agissant sur un véhicule à l'entrée et à la sortie d'une courbe circulaire;
- minimise les empiètements et accroît l'uniformité de vitesse;
- facilite l'écoulement de l'eau dans la zone de transition du dévers;
- améliore l'aspect de la route en éliminant les cassures visibles à l'entrée et à la sortie des courbes circulaires;
- facilite les élargissements de chaussée dans les courbes circulaires (lorsque requis).

Pour le calcul du tracé d'une courbe en spirale, on utilise l'équation suivante :

$$R = \frac{A^2}{L_s} \quad [\text{Eq. TP-3}]$$

où :

R = rayon de courbure (à la distance L) (m)

A = paramètre de la courbe en spirale (m)

L_s = distance parcourue depuis le point d'origine de la courbe (m)

La figure TP-8 montre le résultat obtenu pour des valeurs de «A» de 150 et 300m.

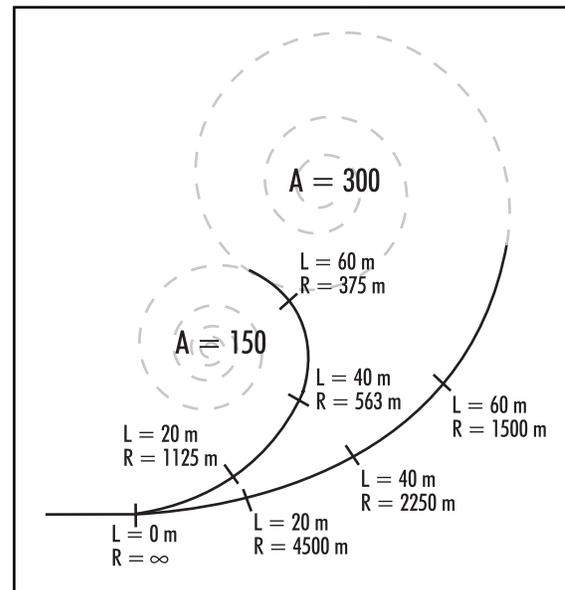
Il faut éviter les très longues courbes en spirale qui nuisent à la perception visuelle de la courbe et peuvent contribuer à des problèmes de drainage.

Selon Council (1998), une courbe en spirale réduit les taux d'accidents de 8 % à 25 % sur les routes ayant des caractéristiques géométriques élevées, tandis que les avantages de sécurité sont moins évidents sur les routes secondaires.

Différentes études présentent cependant des résultats contradictoires quant à l'effet de sécurité des spirales, ce qui a sans doute amené Lamm et al. (1999) à conclure de façon suivante :

« De façon générale, en ce qui a trait aux effets sur la sécurité, il ne faudrait pas trop mettre l'accent sur les courbes en spirale lorsqu'on étudie un projet de route, comme on l'a souvent fait dans bien des pays. Bien sûr, il ne s'agit pas non plus d'ignorer l'importance que les courbes en spirale peuvent avoir sur d'autres aspects... »

Figure TP-8 Courbes en spirale



Comment détecter les problèmes (rayon de courbure)

Accidents :

- sorties de route, collisions frontales, accidents sur chaussée humide.

Circulation :

- empiètements, freinages tardifs, vitesses excessives, marques de dérapage.

Comment détecter les problèmes (suite)

Caractéristiques de la route :

- vérifier la conformité aux normes (rayon de courbure minimal);
- vérifier la cohérence du rayon de courbure dans l'environnement routier (au site);
- vérifier la cohérence du rayon de courbure le long de la route (sinuosité générale de la route avant la courbe).

Mesures possibles

voir : *Tracé en plan – résumé – mesures possibles*

Le tableau TP-1 indique les réductions d'accidents associées à une réduction du degré de courbure, telles qu'établies à partir d'une analyse de données recueillies à 10 900 courbes aux États-Unis (Zegger et al., 1990).

DEGRÉ DE COURBURE ¹		ANGLE DE DÉFLEXION									
		10° ISOLÉ ²		20° ISOLÉ		30° ISOLÉ		40° ISOLÉ		50° ISOLÉ	
Ancien	Nouveau	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
30	25	16	17	16	17	16	17	15	16	15	16
30	20	33	33	32	33	31	33	31	33	30	33
30	15	49	50	48	50	47	50	46	50	46	50
30	12	59	60	57	60	56	60	55	60	55	60
30	10	65	67	64	66	63	66	62	66	61	66
30	8	72	73	70	73	69	73	68	73	68	73
30	5	82	83	80	83	79	83	78	83	78	83
25	20	19	20	19	20	18	20	18	20	17	20
25	15	39	40	38	40	36	40	36	40	35	40
25	12	50	52	49	52	48	52	46	52	46	51
25	10	58	60	56	60	55	60	54	59	53	59
25	8	66	68	64	68	62	68	61	67	60	67
25	5	77	80	75	80	74	79	72	79	72	79
20	15	24	25	23	25	22	25	21	25	20	24
20	12	38	40	36	40	35	40	34	39	33	39
20	10	48	50	45	50	44	49	42	49	41	49
20	8	57	60	54	60	52	59	51	59	50	59
20	5	71	75	68	74	66	74	64	74	64	74
15	10	30	33	23	33	26	33	25	32	24	32
15	8	43	46	40	46	37	46	35	45	34	45
15	5	61	66	56	66	53	65	51	65	50	65
15	33	73	79	68	79	64	78	63	78	63	78
10	5	41	49	36	48	32	48	29	47	28	47
10	3	58	69	50	68	45	67	43	66	42	66
5	3	22	37	15	35	13	33	11	32	11	31

Source : Zegeer et al., 1990.

¹ Le degré de courbure et l'angle de déflexion sont définis à l'*annexe TP-2*.

² Courbe isolée : alignement droit d'au moins 200 m avant et après la courbe.

DIFFÉRENTIELS DE VITESSES

Description

Le choix de vitesse pratiquée dépend de plusieurs facteurs liés aux conducteurs, à la route et à ses abords, aux conditions de circulation, aux véhicules, et aux conditions atmosphériques. Au niveau de l'environnement routier, le tracé en plan est sans doute le plus important facteur influençant ce choix.

Les variations de vitesse le long d'une route ont un impact direct sur la sécurité; plus elles sont importantes et inattendues, plus les probabilités d'accidents sont élevées. Ceci est particulièrement vrai sur les routes à hauts standards géométriques, où les conducteurs s'attendent à pouvoir circuler à des vitesses relativement élevées et constantes. Le non respect de ces attentes peut surprendre les conducteurs et engendrer des erreurs.

Au début des années soixante-dix, les chercheurs allemands ont commencé à développer des règles visant à aider les concepteurs routiers dans le choix de séquences de tracés en plan pouvant réduire les variations de vitesses pratiquées le long d'une route. Les abaques qui ont été développées, indiquent le niveau de qualité de conception de différentes séquences de rayons de courbe (figure TP-9). La méthode, dite de conception par relations, représente une amélioration majeure par rapport aux méthodes traditionnelles et plus statiques qui étaient basées sur une simple vérification de la conformité d'un rayon à des valeurs minimales établies.

Les règles de conception par relations peuvent aussi s'exprimer en termes de différentiels de vitesses. Ainsi, Lamm et al (1999), recommandent d'évaluer la qualité de conception d'une route en comparant le 85^e centile de vitesse des véhicules passagers (V_{85}) entre deux segments de route successifs. La route est considérée bien conçue si cette différence est inférieure à 10 km/h, acceptable entre 10 km/h et 20 km/h et déficiente si la différence est supérieure à 20 km/h. L'Espagne utilise des critères semblables mais basés sur le 99^e centile de vitesse (V_{99}) (tableau TP-2).

Ces différentiels peuvent être mesurés au site mais ils peuvent aussi être estimés à l'aide d'équations de régression de vitesse et d'hypothèses de taux d'accélération et décélération des véhicules. L'utilitaire de calcul « différentiels de vitesses » effectue ce calcul à partir de la méthodologie décrite dans Lamm et al. (1999), tout en permettant une plus grande flexibilité en ce qui concerne les valeurs des paramètres de calcul. Le détail de la procédure est décrit en **annexe TP3**.

[DIFFÉRENTIELS DE VITESSE ]

Figure TP-9 Qualité d'une séquence de rayons de courbures

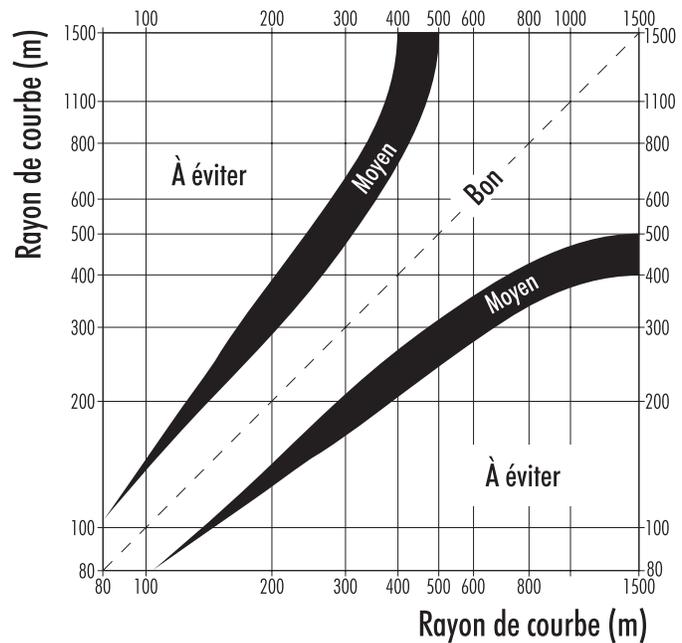
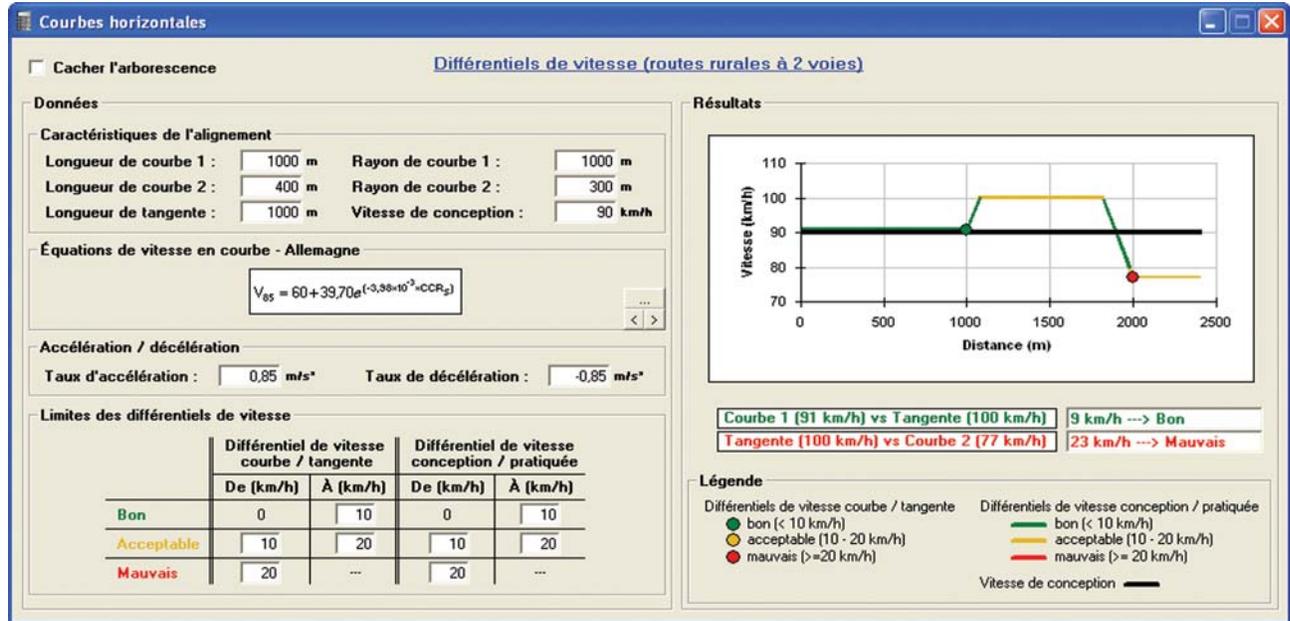


Tableau TP-2 Qualité de conception – Différentiels de vitesse

LAMM ET AL 1999		ESPAGNE	
DIFFÉRENTIEL DE VITESSE ΔV_{85} (km/h)	QUALITÉ CONCEPTION	DIFFÉRENTIEL DE VITESSE ΔV_{99} (km/h)	QUALITÉ CONCEPTION
< 10	Bonne	< 15	Bonne
10 - 20	Acceptable	15 - 30	Assez bonne
> 20	Mauvaise	30 - 45	Mauvaise
		> 45	Dangereuse

Source : Lamm et al. dans Highway design and traffic safety engineering handbook. Copyright 1999, McGraw-Hill Compagnies, Inc.

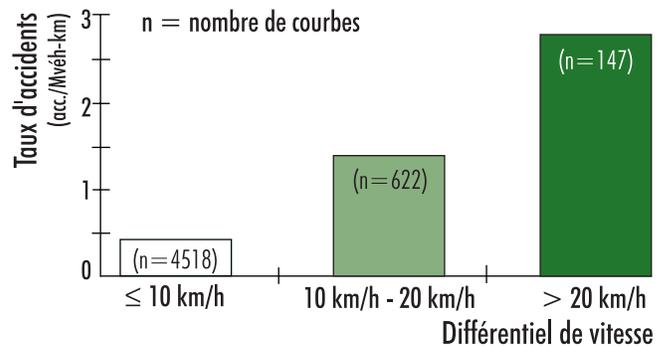
Figure TP-10 Différentiels de vitesses pratiquées – Utilitaire de calcul (routes rurales à 2 voies)



Sécurité

L'effet des différentiels de vitesses pratiquées (V_{85}) sur les accidents a été étudié par Anderson et al. (1999), à partir des données recueillies à 5 287 courbes. Les auteurs ont déterminé que le taux d'accidents dans les courbes ayant un différentiel de vitesses de plus de 20 km/h est deux fois plus élevé que dans celles où ce différentiel est compris entre 10 km/h et 20 km/h et six fois plus élevé que dans celles où il est inférieur à 10 km/h (figure TP-11).

Figure TP-11 Taux d'accidents et différentiels de vitesses



Source : Anderson et al., 1999

Comment détecter les problèmes

Accidents :

- sorties de route, collisions frontales, accidents sur chaussée mouillée.

Circulation :

- réductions importantes de la vitesse à l'approche de la courbe, vitesses excessives, freinages tardifs, traces de freinage, empiètements;
- différentiels de vitesses pratiquées (*Annexe TP-3*).

Mesures possibles

voir : *Tracé en plan – résumé – mesures possibles*

ÉTAT DE LA SURFACE DE ROULEMENT

Description

Le coefficient de frottement transversal a une influence prédominante sur la vitesse maximale en courbe. Par exemple, pour une courbe de 300 m de rayon, ayant un dévers de 0,06 et un coefficient de frottement transversal (f_t) de 0,30, la vitesse maximale (théorique) est de 108 km/h; elle atteint 148 km/h si le f_t est augmenté à 0,80. Les valeurs de coefficient de frottement transversal utilisées en conception routière (f_{td}) sont normalement bien inférieures aux valeurs de frottement qui sont disponibles sur la route (f_t) (f_{td} varie typiquement entre 0,08 et 0,016, selon la vitesse de conception).

Tel que mentionné précédemment, le choix de telles valeurs s'appuie sur les objectifs suivants :

- offrir une marge de sécurité pour la conduite par mauvais temps;
- éviter une augmentation excessive des distances de freinage dans les courbes (figure TP-12);
- offrir un confort raisonnable aux occupants des véhicules.

[DISTANCE DE FREINAGE (COURBE) 

C'est dire que les courbes peuvent, lorsque les conditions sont favorables, être négociées à des vitesses plus élevées que la vitesse de conception de la route. Réalisant ce fait, certains conducteurs prennent l'habitude d'y circuler à des vitesses relativement élevées, diminuant ainsi leur marge de sécurité. Il s'agit d'une habitude de conduite qui peut s'avérer problématique si l'adhérence de surface est déficiente dans une certaine courbe et que le conducteur ne réduit pas suffisamment sa vitesse (il est souvent difficile pour un conducteur de détecter les lacunes d'adhérence). Lorsque la friction disponible dans la courbe devient inférieure à la friction requise en fonction de la vitesse adoptée par le conducteur, il y a perte de contrôle. La friction requise (f_r) se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$f_r = \frac{V_{85}^2}{127 R} - e \quad [\text{Eq. TP-5}]$$

où :

- R = rayon de courbure (m)
- V_{85} = vitesse (km/h)
- e = dévers (m/m)
- f_r = friction requise à la vitesse V_{85}

[FROTTEMENT REQUIS EN COURBE 

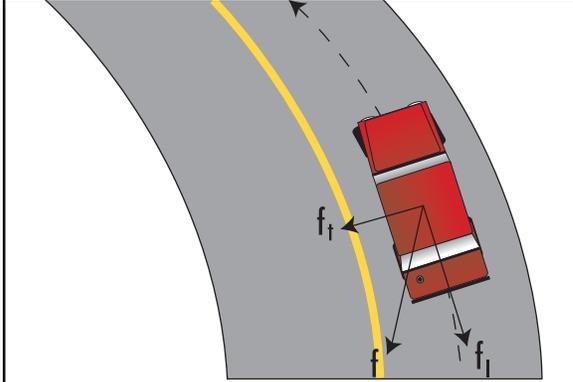
Lamm et al (1999) recommandent d'évaluer la qualité du tracé en plan en comparant les valeurs du coefficient de frottement transversal de conception (f_{td}) et du coefficient de frottement requis (f_r) (tableau TP-3).

Certains pays recommandent d'utiliser des seuils de frottement minimal plus élevés dans les courbes horizontales. En Grande-Bretagne par exemple, sur les sections « faciles » de routes à chaussées contiguës, le seuil d'adhérence minimal est de 0,40 alors qu'il est augmenté à 0,60 dans les courbes horizontales raides¹.

La combinaison d'autres dégradations de la surface de roulement (*ornières* ou défauts d'uni excessifs) peut également aggraver la situation.

¹ courbe de rayon inférieur à 100 m et de vitesse supérieure à 64 km/h (40 mph).

Figure TP-12 Frottement en courbe horizontale



$f^2 = f_l^2 + f_t^2 \quad [\text{Eq. TP-4}]$

avec:

- f = coefficient de frottement total
- f_l = coefficient de frottement longitudinal
- f_t = coefficient de frottement transversal

¹ Lors d'une manœuvre de freinage en courbe, le frottement total disponible est réparti entre sa composante longitudinale (f_l), qui est nécessaire au freinage, et sa composante transversale (f_t), qui est nécessaire aux changements de direction. Pour ne pas allonger de façon excessive les distances de freinage, les valeurs de f_{td} ne doivent pas dépasser 40 à 50 % du coefficient de frottement total pouvant être attendu lors de conditions défavorables. On conserve ainsi environ 90 % du frottement total pour les manoeuvres de freinage (**Conditions de surface - Frottement**).

Tableau TP-3 Qualité de conception Différentiels de frottement

DIFFÉRENTIEL DE FROTTEMENT	QUALITÉ DE CONCEPTION
$f_{td} - f_r \geq +0,01$	Bonne
$-0,04 \leq f_{td} - f_r \leq +0,01$	Acceptable
$f_{td} - f_r < -0,04$	Mauvaise

f_{td} : valeur de coefficient de frottement utilisée en conception
 f_r : frottement requis (en fonction de la vitesse pratiquée)
 Source : Lamm et al. dans Highway design and traffic safety engineering handbook. Copyright 1999, McGraw-Hill Companies, Inc.

Sécurité

La présence d'eau entre le pneu et la surface de roulement diminue l'adhérence de surface, ce qui explique que les sites ayant de faibles coefficients de frottement peuvent avoir des concentrations d'accidents élevées sur chaussée non sèche. Comme les besoins d'adhérence sont plus élevés en courbe qu'en tangente, le problème y est accentué. Ainsi, Page et Butas (1986) indiquent que les taux d'accidents sur chaussée humide sont plus élevés dans les courbes qu'en alignement droit, surtout lorsque le coefficient de frottement μ est faible (*état de la surface de roulement*).

Comment détecter les problèmes (surface de roulement)

Accidents :

- accidents sur chaussée mouillée.

Circulation :

- dérapages, marques de freinage, empiètements, manoeuvres d'évitement attribuables aux défauts d'uni.

Caractéristiques de la route

Vérifier :

- adhérence de surface (polissage, ressuage, contamination);
 - effectuer au besoin des *tests de frottement* instrumentés;
 - calculer f_r et comparer à f_{td} .
- uni de surface (ondulations, nids de poule, orniérage, etc.);
- présence d'accumulation d'eau ou de débris sur la chaussée.

Mesures possibles



Dérapiage

Le dérapage survient lorsque la force centrifuge devient supérieure à la résistance offerte par la frottement transversal (f_t) et le dévers (e). Le conducteur perd alors le contrôle de son véhicule, qui glisse vers l'extérieur de la courbe (même si, au bout du compte, il peut venir s'immobiliser du côté intérieur de la courbe).

La vitesse de dérapage dépend de plusieurs facteurs, dont : les caractéristiques des véhicules, les manoeuvres effectuées par les conducteurs et l'état de la surface de roulement. Pour calculer cette vitesse avec précision, il faut effectuer sur place des tests de frottement instrumentés et ajuster les résultats de façon à prendre en compte les différences entre les conditions des tests et celles qui prévalaient lors de l'événement à l'étude. Ce type d'analyse est typiquement effectué lors de reconstitutions d'accidents (*état de la chaussée – Facteurs d'ajustement*).

La vitesse à laquelle le dérapage peut survenir doit toujours être largement supérieure à la limite de vitesse affichée. En cas contraire, il faut prévoir des mesures d'avertissement qui sont adaptées à la situation rencontrée et qui sont implantées suffisamment en amont de la courbe pour que les conducteurs aient le temps de s'y préparer adéquatement.

$$V_{skid} = \sqrt{127R (e + f_t)} \quad [\text{Eq. TP-6}]$$

où :

- V_{skid} = vitesse de dérapage (km/h)
- R = rayon de courbure (m)
- e = dévers (m/m)
- f_t = coefficient de frottement transversal disponible

[COURBE HORIZONTALE - VITESSE ]

Courbes horizontales

Équations de base

$V = \sqrt{127R(e + f)}$

Calculer : V R f

Friction (f)

friction constante

friction variable selon la vitesse

Rayon de courbe (R) : m

Dévers (e) :

Friction (f) :

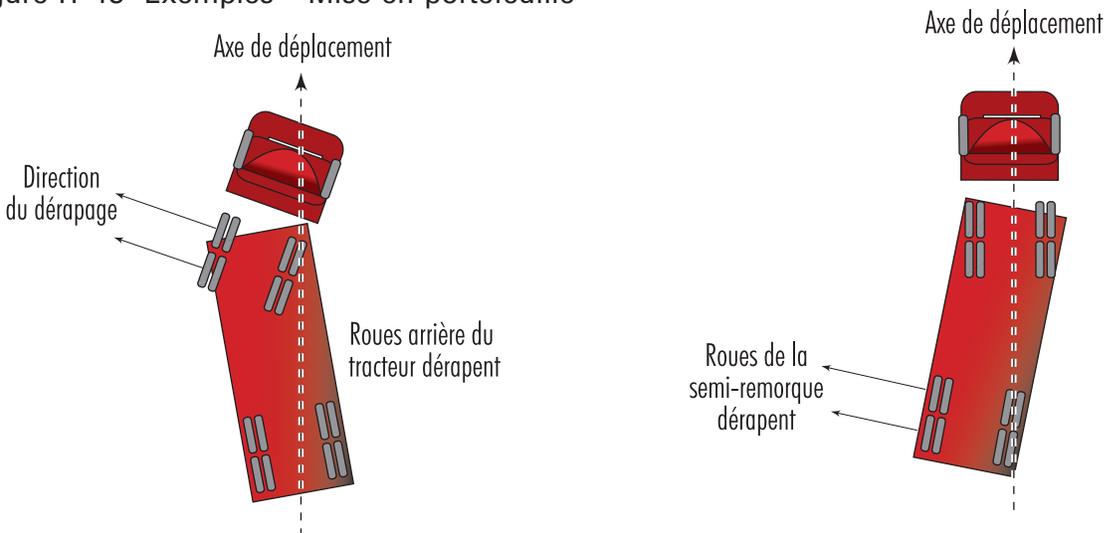
Vitesse (V) : km/h

Mise en portefeuille

Pour différentes raisons, la limite de dérapage n'est pas nécessairement atteinte en même temps sur toutes les roues d'un véhicule. Il peut s'agir de différences entre : les charges sur chacune des roues, les forces de freinage appliquées sur les roues, les caractéristiques des pneus d'un véhicule, les caractéristiques de la surface de roulement, etc.

Si le véhicule a une configuration rigide (p. ex. camion porteur), le frottement peut alors se développer aux roues qui n'ont pas encore atteints la limite de dérapage. Dans le cas d'un véhicule articulé (semi-remorque, remorque, train routier), le dérapage de certaines roues peut cependant entraîner la rotation de ses éléments rigides et modifier complètement la configuration du véhicule. Un exemple fréquent est celui d'un tracteur semi-remorque dont les roues arrière du tracteur ou de la semi-remorque dérapent, provoquant ainsi la rotation des deux parties rigides du véhicule autour de la cheville d'attelage (figure TP-13). C'est ce qu'on appelle une mise en portefeuille, situation qui est plus susceptible de survenir sur chaussée humide et lors de manœuvres de freinage. Lorsque les véhicules semi-remorques représentent une proportion importante du trafic, les problèmes de mise en portefeuille peuvent survenir avant ceux de dérapage.

Figure TP-13 Exemples – Mise en portefeuille



RENVERSEMENT

Description

Lorsque le coefficient de frottement est élevé, certains véhicules lourds qui sont étroits et hauts peuvent renverser avant de commencer à dérapager. Le seuil de renversement d'un véhicule (SR)² ou facteur de stabilité statique dépend en effet de la largeur de sa voie (écartement des roues) et de la hauteur de son centre de gravité :

$$SR = t/2h \quad [\text{Eq. TP-7}]$$

où :

SR = seuil de renversement

t = voie du véhicule (m)

h = hauteur du centre de gravité du véhicule (m)

Si la valeur de SR est plus élevée que le coefficient de frottement transversal pouvant être mobilisé dans une courbe (f_t), il y aura renversement avant dérapage (et inversement). Le risque de renversement est généralement faible pour les véhicules particuliers car leurs valeurs de SR sont relativement élevées (variant typiquement de 1 à 1,5g). Pour certains véhicules lourds cependant, ce seuil peut être aussi faible que 0,3g ou 0,4g et leur risque de renversement est donc beaucoup plus élevé.

L'équation du calcul de la vitesse de renversement en courbe est similaire à celle du calcul de la vitesse de dérapage, sauf qu'on y remplace le coefficient de frottement transversal disponible (f_t) par le seuil de renversement ($t/2h$) :

$$V_r = \sqrt{127R \left(e + \frac{t}{2h} \right)} \quad [\text{Eq. TP-8}]$$

où :

V_r = vitesse de renversement (km/h)

R = rayon de courbure (m)

e = dévers (m/m)

[VITESSE DE RENVERSEMENT ]

Comment détecter les problèmes

Accidents :

- renversements de camions.

Circulation :

- vitesses pratiquées.
- calculer la vitesse de renversement et la comparer à la vitesse pratiquée.

Mesures possibles

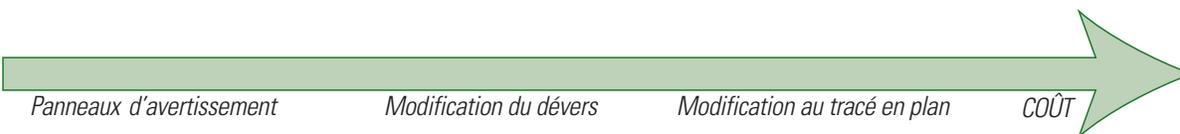
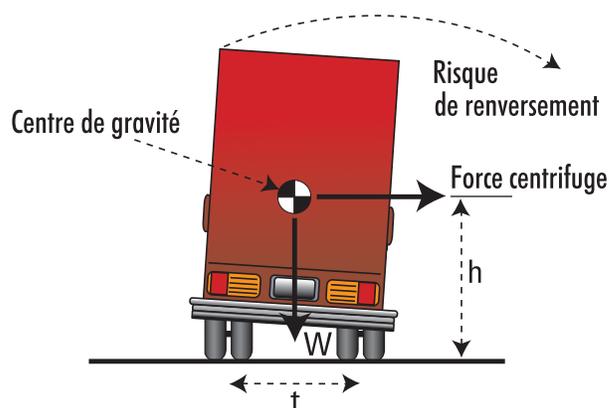


Figure TP-14 Renversement



Renversement d'un véhicule lourd dans une courbe raide sur une artère rurale

² Ce seuil correspond à la limite inférieure d'accélération centrifuge (exprimée en « g »), qui est suffisante pour faire renverser un véhicule.

DÉVERS

Description

Le dévers correspond à l'inclinaison du profil en travers de la route vers le côté intérieur d'une courbe (figure TP-15). Il diminue légèrement l'adhérence nécessaire pour contrer la force centrifuge et contribue au confort des occupants. La vitesse maximale à laquelle un véhicule peut circuler dans une courbe augmente avec le dévers (tableau TP-4).

[COURBE HORIZONTALE - VITESSE ]

Si le dévers est excessif et que l'adhérence est très faible (p. ex. surface glacée), certains véhicules lents ou immobilisés peuvent glisser vers l'intérieur de la courbe. Les valeurs recommandées pour le dévers sont de l'ordre de 5 % à 8 %.

Il faut prévoir une zone de transition entre un alignement droit et une courbe pour amorcer graduellement le dévers. Dans une partie de cette zone, la section en travers de la route s'aplanit sur le côté extérieur, ce qui peut conduire à des accumulations d'eau et causer des problèmes de dérapage (figure TP-16). Il faut en conséquence s'assurer de compléter cette zone avant l'amorce de la courbe, tout en veillant à la qualité du drainage à cet endroit.

Le rayon de courbure maximal auquel un dévers est jugé nécessaire varie considérablement d'un pays à l'autre; il est par exemple de 900 m en France sur les routes à hauts standards géométriques, comparativement à 5 000 m en Espagne pour le même type de route.

Sécurité

D'après Dunlap et al. (1978), le nombre d'accidents sur chaussée humide est anormalement élevé dans les courbes ayant un dévers de moins de 2 %.

Selon Zegeer et al. (1992), des améliorations au dévers permettent de réduire le nombre d'accidents de 5 à 10 %.

Comment détecter les problèmes

Caractéristiques de la route :

- dévers faible, nul ou inversé;
- changement brusque ou irrégulier du dévers;
- mauvais drainage, surtout dans la zone de transition.

Mesures possibles

Correction de dévers.

Figure TP-15 Dévers en courbe

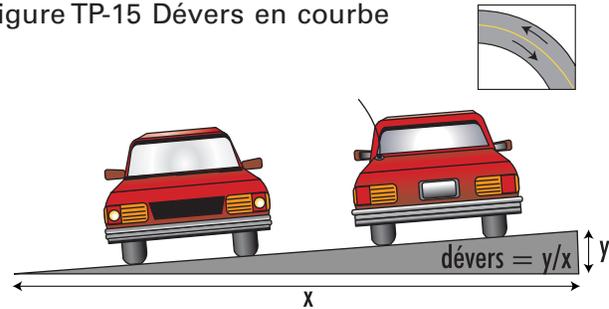
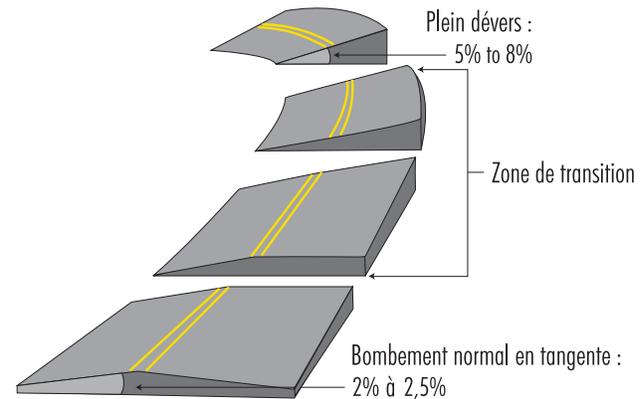


Tableau TP-4 Exemple – Relation entre dévers et vitesse

DÉVERS (m/m)	VITESSE (km/h)
0,00	62
0,02	67
0,04	71
0,06	76
0,08	80

Rayon = 250 m, coefficient de frottement = 0,12

Figure TP-16 Développement du dévers



LARGEUR DE LA ROUTE

Description

Dans une courbe horizontale, le rayon emprunté par les roues avant d'un véhicule est supérieur à celui des roues arrière et conséquemment, la largeur balayée par le véhicule y est donc plus grande que sur un alignement droit (figure TP-17). Cette largeur supplémentaire est négligeable pour un véhicule particulier, mais elle peut être assez importante pour un long véhicule articulé. De plus, la difficulté de conduite associée aux changements de direction dans la courbe augmente aussi le risque d'empiètement sur l'extérieur de la voie empruntée par le véhicule.

Il est donc nécessaire d'augmenter la largeur de la route dans certaines courbes horizontales. La largeur nécessaire dépend du rayon de courbure, de la vitesse pratiquée et des caractéristiques des véhicules lourds circulant à cet endroit.

Les débits de circulation devraient aussi être pris en compte. Le guide de conception canadien, par exemple, indique qu'il n'est pas nécessaire d'élargir les routes à deux voies si le nombre de camions y circulant dans les deux sens est inférieur à 15/h (Transportation Association of Canada, 1999).

Il y a peu d'uniformité au niveau international quant à l'élargissement requis en courbe. Le tableau TP-5 indique les critères britanniques qui sont relativement simples, tandis que le calculateur de « largeur de la chaussée » est basé sur la méthodologie canadienne qui est plus complexe (Transportation Association of Canada, 1999).

Tableau TP-5 Élargissement en courbe (Royaume-Uni)

RAYON (m)	ROUTE DE LARGEUR NORMALE	ROUTE ÉTROITE
90 à 150	0,3 m/voie	0,6 m/voie
150 à 300		0,5 m/voie
300 à 400		0,3 m/voie

Source : The Stationery Office, 1993

[LARGEUR DE LA CHAUSSEE]

Sécurité

Krebs et Kloeckner (1977) ont vérifié l'effet de la largeur de la chaussée sur les accidents et la figure TP-18 montre les résultats de leur étude : on constate que pour les trois catégories de rayons de courbe considérés, les taux d'accidents diminuent à mesure que la largeur de la chaussée augmente.

Le tableau TP-6, extrait d'une étude américaine effectuée par Zegeer et al. (1990), montre les pourcentages de réduction d'accidents pouvant être attendus d'élargissements des voies ou des accotements en courbe.

Figure TP-17 Largeur de voie requise en courbe

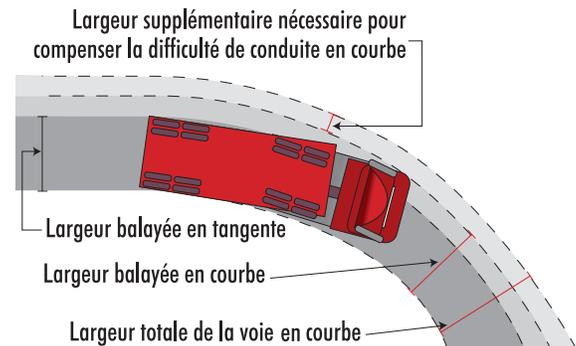
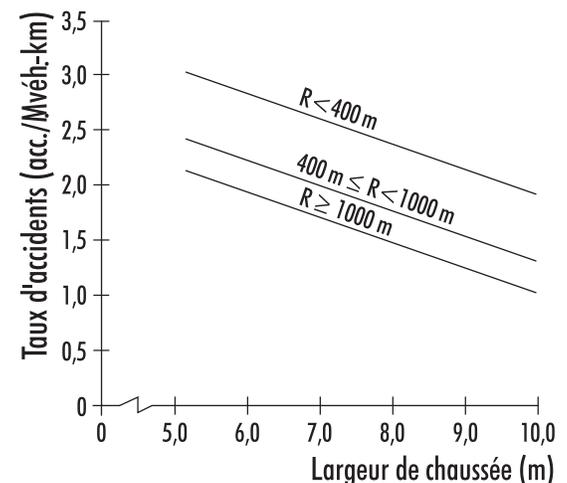


Figure TP-18 Taux d'accidents en courbe selon la largeur de chaussée



Source : Krebs and Kloeckner (1977)

Tableau TP-6 Réduction d'accidents (%) après élargissement de la voie ou de l'accotement

ÉLARGISSEMENT (m)	PAR CÔTÉ	RÉDUCTION D'ACCIDENTS (%)		
		VOIES	ACCOTEMENT PAVÉ	ACCOTEMENT NON PAVÉ
0,6	0,3	5	4	3
1,2	0,6	12	8	7
1,8	0,9	17	12	10
2,4	1,2	21	15	13
3,0	1,5		19	16
3,6	1,8		21	18
4,2	2,1		25	21
4,8	2,4		28	24
5,4	2,7		31	26
6,0	3,0		33	29

Source : Zegeer et al. (1990)

Comment détecter les problèmes (largeur de la route)

Accidents :

- sorties de route, collisions frontales, collisions latérales.

Circulation :

- empiètements sur la voie adjacente ou l'accotement.

Caractéristiques de la route :

- déterminer la largeur de route requise en courbe et comparer avec la largeur mesurée au site.

Mesures possibles

- Élargissement de la route.

ACCOTEMENTS

Description

En milieu rural, les accotements doivent être stabilisés et libres d'obstacles, afin de permettre aux véhicules qui y empiètent de récupérer leur voie de circulation. Il faut en ce sens apporter une attention particulière à la qualité des accotements dans les courbes, puisque les risques d'empiètements y sont plus élevés qu'en tangente.

L'érosion peut rapidement dégrader les accotements non revêtus, surtout dans les zones où les précipitations sont fortes et où l'écoulement des eaux de pluie est abondant (p. ex. courbes verticales rentrantes).

Les dénivellations de l'accotement par rapport à la voie de roulement augmentent les risques de pertes de contrôle et sont donc à éviter (figure TP-19).

Sécurité

D'après Zegeer et al. (1992), le pavage des accotements permet de diminuer de 5 % la fréquence d'accidents.

Comment détecter les problèmes

Accidents :

- sorties de route.

Caractéristiques de la route :

- vérifier si les conditions de l'accotement permettent aux conducteurs de récupérer leur voie (largeur, matériau, stabilité, dénivellation);
- vérifier la présence d'obstacles sur l'accotement (poteaux, boîtes aux lettres, végétation, etc.).

Mesures possibles

Figure TP-19 Exemples – Problèmes d'entretien des accotements



Dénivellation entre chaussée et accotement



Gazon sur accotement

Stabilisation, rechargement

Enlèvement des obstacles

Drainage

Pavage

COÛT

ABORDS DE ROUTE – DISTANCE DE VISIBILITÉ

Description

Comme partout ailleurs sur la route, la distance de visibilité en tous points d'une courbe doit être suffisante pour permettre des manœuvres d'arrêt sécuritaires. Divers obstacles situés sur le côté intérieur d'une courbe peuvent nuire à la visibilité : talus, végétation, bâtiment, etc. Il faut donc s'assurer qu'un dégagement latéral (DL) suffisant, dont la largeur dépend de la distance de freinage dans la courbe, soit disponible de ce côté la route (figure TP- 20).

[DISTANCE DE FREINAGE (COURBE)]

Il faut en théorie, lors du calcul de la distance de dégagement latéral requise (DL), distinguer deux cas, suivant que la distance d'arrêt est supérieure à la longueur de la courbe ($S > L_c$) ou non ($S < L_c$). Les équations de calcul du premier cas sont plus complexes et peu utilisées en pratique, puisque la distance DL est toujours plus longue lorsque $S < L_c$ (**annexe PL-4**). L'utilitaire de calcul « distance de de dégagement latéral » permet d'obtenir les valeurs de DL pour ce dernier cas.

[DÉGAGEMENT LATÉRAL]

En terrain plat, il est possible de déterminer graphiquement la zone de dégagement latéral, en dessinant plusieurs lignes, tout au long de la courbe, dont la longueur équivaut à la distance d'arrêt des véhicules. Une extrémité de ces lignes représente les yeux du conducteur tandis que l'autre extrémité représente l'objet devant être aperçu sur la chaussée. (figure TP-21).

Il faut noter que la visibilité peut être affectée par des obstacles relativement bas situés sur les abords de route (figure TP-22).

Les distances d'arrêt des véhicules lourds munis d'un système de freinage conventionnel sont considérablement plus longues que celles des véhicules passagers (tableau TP-7). Dans certains cas, la hauteur des yeux d'un conducteur de véhicule lourd peut compenser pour cette distance additionnelle, mais cela n'est plus vrai si le côté intérieur des courbes contient des objets élevés (p. ex. arbres, rochers, etc.). Dans de tels cas, la distance de dégagement latéral devrait être calculée en fonction des véhicules lourds.

Figure TP-20 Dégagement latéral en courbe

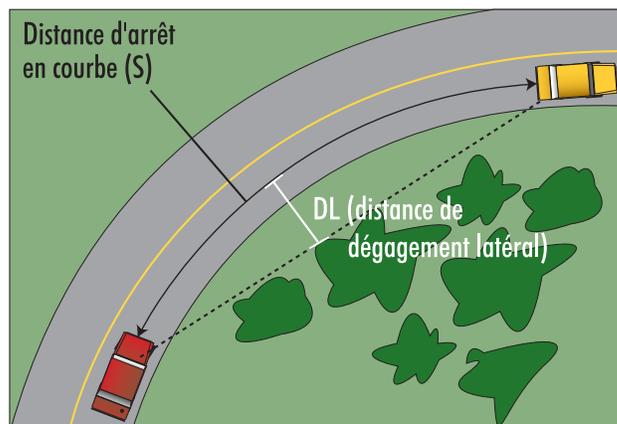


Figure TP-21 Détermination graphique de la zone de dégagement latéral en courbe

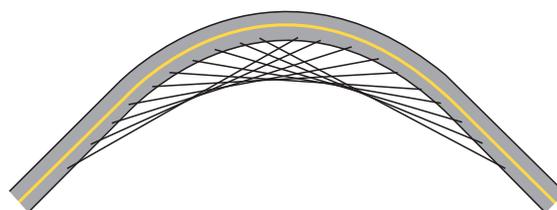


Figure TP-22 Hauteur maximale des objets sur le côté intérieur d'une courbe

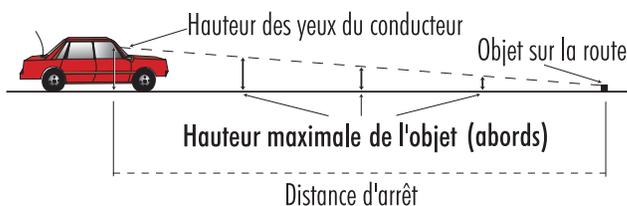


Tableau TP-7 Distances d'arrêt – Automobiles et camions

Distances d'arrêt (m)	VITESSE DE CONCEPTION (km/h)							
	40	50	60	70	80	90	100	110
- Automobiles	45	65	85	110	140	170	210	250
- Camions	70	110	130	180	210	265	330	360

Source : Transportation Association of Canada, 1999

Comment détecter les problèmes (distance de visibilité)

Accidents :

- collisions arrières, collisions à angle droit (accès ou intersections), collisions frontales.

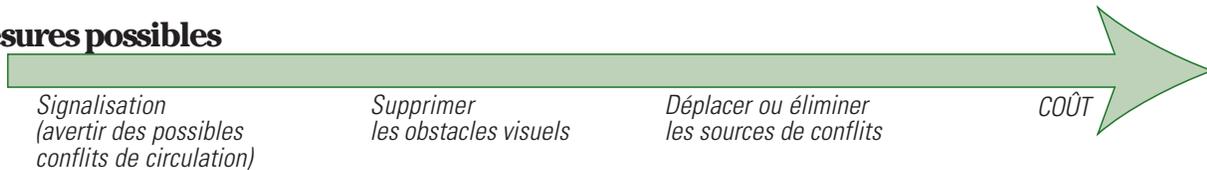
Circulation :

- conflits de circulation, marques de dérapage.

Caractéristiques de la route :

- mesurer les distances de visibilité disponibles et comparer aux distances d'arrêts;
- vérifier la présence d'obstructions visuelles qui peuvent être permanentes, temporaires ou saisonnières (p. ex. végétation);
- vérifier la présence de sources de conflits de circulation potentiels aux endroits où la visibilité est restreinte (intersections, traverses, entrées privées, etc.).

Mesures possibles



ABORDS DE LA ROUTE – ROUTE QUI PARDONNE

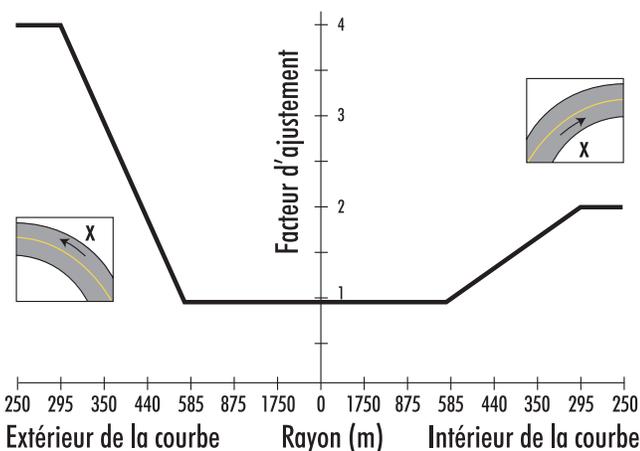
Description

Le taux d'empiètement sur les abords de la route est beaucoup plus élevé dans les courbes que dans les alignements droits. Le Roadside design guide (AASHTO, 2002) indique que ce taux est jusqu'à quatre fois plus élevé qu'en tangente du côté extérieur des courbes et jusqu'à deux fois plus élevé du côté intérieur (figure TP-23).

Il est donc essentiel, pour réduire la gravité des sorties de route à ces endroits, de dégager les abords de tout obstacle rigide. Puisque la distance parcourue par un véhicule en détresse sur les abords de route augmente avec sa vitesse (figure TP-24), la largeur de dégagement requise doit augmenter en fonction de ce paramètre. Pour des raisons économiques, on tient aussi compte de la catégorie de route et des volumes de circulation lors de la détermination de ces zones de dégagements.

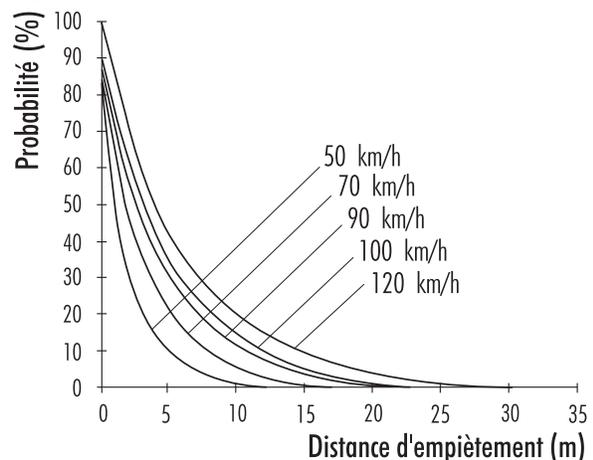
En Amérique du Nord, une distance de dégagement d'environ 10 m est généralement recommandée le long des autoroutes et les distances équivalentes sont encore plus importantes dans certains pays d'Europe. Lorsqu'il est impossible de satisfaire à ces exigences, des barrières de sécurité doivent être installées pour protéger les usagers de la route. Il faut cependant reconnaître que de telles barrières peuvent elles-mêmes constituer un danger pour les véhicules hors contrôle et il ne faut donc pas abuser de cette solution de compromis.

Figure TP-23 Facteurs d'empiètement



Source : Roadside Design Guide, Copyright 2002, par l'American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reproduit avec permission.

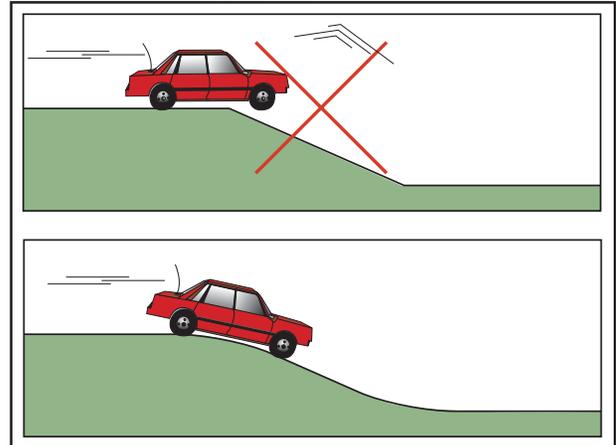
Figure TP-24 Étendue latérale d'empiètement



Source : Roadside Design Guide, Copyright 1996, par l'American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reproduit avec permission.

Les pentes de talus raides constituent aussi, à toutes fins pratiques, des obstacles rigides et doivent donc être évitées. La pente maximale qu'un véhicule est en mesure de gravir (ou de descendre) est de l'ordre de 1:3 à 1:4. Il faut également arrondir les angles de transition entre accotement et talus et entre talus et terrain adjacent.

Figure TP-25 Arrondissement des pentes de talus



Sécurité

Les réductions d'accidents pouvant être attendues d'améliorations des abords de routes sont indiquées aux tableaux TP-8 et TP-9 (selon des études américaines réalisées par Zegeer, 1990, 1992).

Comment détecter les problèmes

Accidents :

- accidents avec objets fixes, renversements.

Caractéristiques de la route

Vérifier :

- présence d'obstacles rigides non protégés dans la zone de dégagement : arbre, rocher, pont, ouvrage de drainage rigide, poteau, boîte aux lettres, etc.;
- pentes de talus abrupte;
- présence d'eau (et profondeur) dans les fossés;
- équipement de sécurité endommagé (glissière, atténuateur d'impact, etc.).

Tableau TP-8 Réduction d'accidents (%) résultant de l'augmentation de la distance de dégagement sur les abords de route

AUGMENTATION DE LA ZONE DE DÉGAGEMENT LATÉRAL (m)	RÉDUCTION D'ACCIDENTS (%)
1,5	9
2,4	14
3,0	17
3,7	19
4,6	23
6,1	29

Source : Zegeer et al., 1992

Tableau TP-9 Réduction d'accidents (%) résultant de l'adoucissement des pentes de talus en courbe

TALUS AVANT	TALUS APRÈS			
	4:1	5:1	6:1	7:1 ou plus
2:1	6	9	12	15
3:1	5	8	11	15
4:1	-	3	7	11
5:1	-	-	3	8
6:1	-	-	-	5

Source : Zegeer et al., 1990

Mesures possibles

Pour les obstacles non protégés, quatre types de mesures peuvent être mises en œuvre :

- élimination de l'obstacle;
- déplacement;
- fragilisation;
- protection.

Pour les talus en pente raide :

- aplanissement du talus;
- arrondissement des angles entre accotement/talus et talus/terrain adjacent;
- installation de barrières de sécurité.

DÉPASSEMENT

Description

Les possibilités de dépassement doivent être évaluées dans la courbe même ainsi que sur l'ensemble d'un tronçon de route qui comprend la courbe et plusieurs kilomètres de chaque côté.

Dans la courbe

Il faut soit un tronçon droit ou une courbe de très long rayon pour que les distances de visibilité disponibles permettent des manœuvres de dépassement sécuritaires. De plus, le dépassement ne devrait pas être permis dans les courbes tournant vers la droite car le véhicule à dépasser peut nuire à la visibilité de celui qui amorce la manœuvre (conduite à droite). Dans tous les cas où la distance de visibilité est insuffisante, le marquage de la chaussée doit clairement (et en tout temps) interdire la manœuvre de dépassement.

Les courbes de rayon intermédiaire, trop courts pour permettre le dépassement sécuritaire mais susceptibles d'encourager certains conducteurs à tenter cette manœuvre, doivent être évitées (tableau TP-10).

Sur un tronçon de plusieurs kilomètres

Sur les routes rurales à deux voies, les possibilités de dépassement doivent être suffisantes pour éviter la formation de pelotons de véhicules qui peuvent accroître la frustration de certains conducteurs et engendrer des manœuvres dangereuses³. Les normes de certains pays recommandent des pourcentages minimums de longueurs de la route offrant la distance de visibilité suffisante pour permettre le dépassement (tableau TP-11).

Tableau TP-10 Rayons de courbure à éviter

PAYS	RAYONS (m)
GRANDE-BRETAGNE	700 - 2000
FRANCE	900 - 2000

Tableau TP-11 Pourcentage minimal de la route offrant la distance de visibilité de dépassement

PAYS	POURCENTAGE MINIMAL
SUISSE, ALLEMAGNE	20%
FRANCE	25%
GRANDE-BRETAGNE	15 - 40%

(selon la catégorie de route)

Sur les routes à deux voies contiguës, les possibilités de dépassement dépendent non seulement de la distance de visibilité disponible mais aussi de la présence de créneaux de dépassement en sens inverse. À mesure que la circulation augmente, ces créneaux diminuent et il peut alors devenir nécessaire d'envisager l'implantation d'une voie de dépassement.

Comment détecter les problèmes

Accidents :

- collisions frontales et autres accidents liés à une manœuvre de dépassement.

Circulation :

- pelotons, manœuvres de dépassement dangereuses.

Caractéristiques de la route :

- comparer les distances de visibilité disponibles et la **distance de visibilité de dépassement**;
- vérifier l'état du marquage de la chaussée (interdisant les dépassements dangereux)
- vérifier si les opportunités de dépassement sont suffisantes sur l'itinéraire.

Mesures possibles



³ Les distances de visibilité peuvent être limitées non seulement par les caractéristiques du tracé en plan, mais aussi par celles du profil en long ainsi que par certaines combinaisons de ces deux profils.

SIGNALISATION ET AUTRES DISPOSITIFS D'AVERTISSEMENT

Description

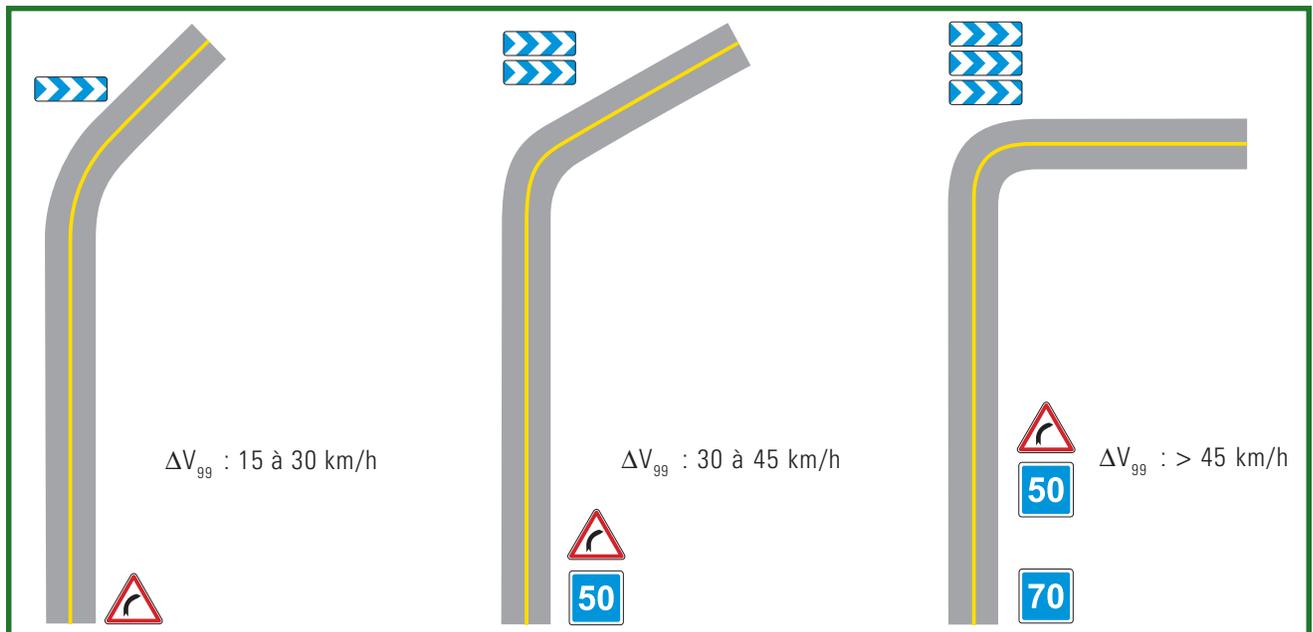
Lorsqu'une réduction de vitesse est requise à l'approche d'une courbe, il faut en avertir suffisamment à l'avance les conducteurs, par une signalisation appropriée, afin qu'ils puissent adapter leur conduite aux conditions de la route. En plus de la signalisation marquant la présence de la courbe (et indiquant dans certains cas, la vitesse recommandée), d'autres mesures d'avertissement peuvent aussi être utilisées : marquage de la chaussée, délinéateurs (sur la chaussée ou sur poteaux), chevrons, ralentisseurs sonores.

La nature et l'intensité du message doivent être adaptées au contexte routier et à la catégorie de route : importance de la diminution de vitesse requise, importance des débits de circulation, attentes des conducteurs par rapport à la présence de la courbe, visibilité de la courbe, possibilités de conflits de circulation dans la courbe, etc. Les mêmes messages d'avertissements doivent toujours être utilisés pour les mêmes types de situations afin de réduire les possibilités d'erreurs de conduite (*attentes des conducteurs et tâche de conduite*).

Figure TP-26 Exemples – Signalisations d'avertissement adaptées à l'environnement routier



Figure TP-27 Signalisations d'avertissement en courbe (Espagne)



Sécurité

Selon Tignor (ITE, 1999), la présence de panneaux d'avertissement de courbe peut réduire les accidents de 20 %.

Comment détecter les problèmes (signalisation)

Accidents :

- sorties de route.

Circulation :

- freinages tardifs, empiètements, vitesses excessives.

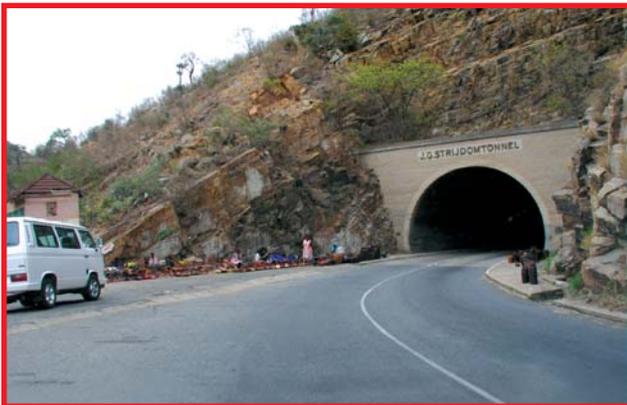
Caractéristiques de la route :

- comparer la signalisation en place et les normes en vigueur (équipements manquants ou superflus, dimension, emplacement, hauteur);
- vérifier la visibilité et la lisibilité de la signalisation;
- vérifier l'état de la signalisation (panneaux usés, brisés, sales, à faible rétroreflectivité);
- vérifier l'adéquation entre les caractéristiques de la courbe et les messages d'avertissement (attentes des usagers).

COMBINAISONS DE CARACTÉRISTIQUES

Description

Les difficultés associées à la conduite en courbe font en sorte qu'il peut être difficile pour un conducteur de traiter simultanément certains stimuli additionnels pouvant se retrouver dans l'environnement routier. Il faut en conséquence s'assurer de contrôler, dans la courbe et ses environs, la présence de sources de conflits potentiels (intersections, traverses, accès privés), de distractions (publicité, activités commerciales, etc.) ou d'autres éléments pouvant ajouter à la complexité de la tâche (pente, pont étroit, perte de voie, etc.).



Rétrécissement de la largeur de la chaussée et activités commerciales sur les abords de la route dans une courbe à l'approche d'un tunnel.



Accident à une intersection en courbe.

Mesures possibles



RÉFÉRENCES

- Al-Masaeid, H.R. (1997)** *“Impact of pavement condition on rural road accidents”*, Canadian Journal of Civil Engineering, N24, pp. 523-531, Canada.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1996)** *Roadside design guide*, Washington, DC., Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2002)** *Roadside design guide*, Washington, DC., Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.
- Anderson, I.B., Bauer, K.M., Harwood, D.W. et Fitzpatrick, K. (1999)** *“Relationship to safety of geometric design consistency measures for rural two-lane highways”*, Transportation Research Record 1658, pp. 43-51 Transportation Research Board, Washington, DC., pp. 43-51.
- Brenac, T. (1996)** *“Safety at curves and road geometry standards in some European countries, a discussion”*, Transportation Research Record 1523, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Council, F.M. (1998)** *“Safety Benefits of Spiral Transitions on horizontal curves on two-lane rural roads.”*, Transportation Research Record 1635, pp. 10-17, Transportation Research Board, Washington, DC.: TRB.
- Dunlap, D.F., Fancher, P.S., Scott, R.E., MacAdam, C.C. et Segel, L. (1978)** *Influence of combined highway grade and horizontal alignment on skidding*, NCHRP Report 194, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Fricke, (1990)** *“Traffic accident reconstruction”*, Volume 2 of the traffic accident investigation manual, Northwestern University Traffic Institute, Evanston, Illinois.
- Glennon, J.C., Neuman, T.R. et Leisch, J.E. (1985)** *Safety and operational considerations for design of rural highway curves*, FHWA-RD-86-035, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Tignor, S.C. (1999)** *Traffic control devices : Overview, Chapter 2 in The Traffic safety toolbox A Primer on traffic safety*, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC., pp. 39-46.
- Kihlberg, J.K. et Tharp, K.J. (1968)** *“Accident rates as related to design elements of rural highways”*, NCHRP Report No.47, Highway Research Board, Washington, DC.
- Krammes, B.A. et Garnham, M.A. (1995)** *Worldwide review of alignment design policies*, Proceedings, International symposium on highway geometric design practices, Boston, MA.
- Krebs, H.G. et Kloeckner, J.H. (1977) dans Lamm et al. (1999)** *“Investigations of the effect of highway and traffic conditions outside built-up areas on accident rates”*, Research Road Construction and Road Traffic Technique (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik), Minister of Transportation, Germany.
- Lamm, R., Mailaender T. et Psarianos B. (1999)** *Highway design and traffic safety engineering handbook*, McGraw-Hill.
- Leutzbach, W. et Zoellmer, J. (1989) dans Lamm et al. (1999)** *“Relationship between traffic safety and design elements”*, Research Road Construction and Road Traffic Technique (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik), V545, Minister of Transportation, Germany.
- MUTCD (2000)** *Manual on uniform traffic control devices, Millennium Edition*, US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Ogden, K.W. (1996)** *Safer Roads: A Guide to road safety engineering*, Avebury Technical.
- Page, B.G. et Butas, L.F. (1986)** *Evaluation of friction requirements for California State highways in terms of highways geometrics. Final report*, FHWA/CA-TL-86/01, California Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Page, B.G. et Butas, L.F. (1986)** *Evaluation of friction requirements for California State highways in terms of highways geometrics. Final report*, FHWA/CA-TL-86/01, California Department of Transportation, Federal Highway Administration.

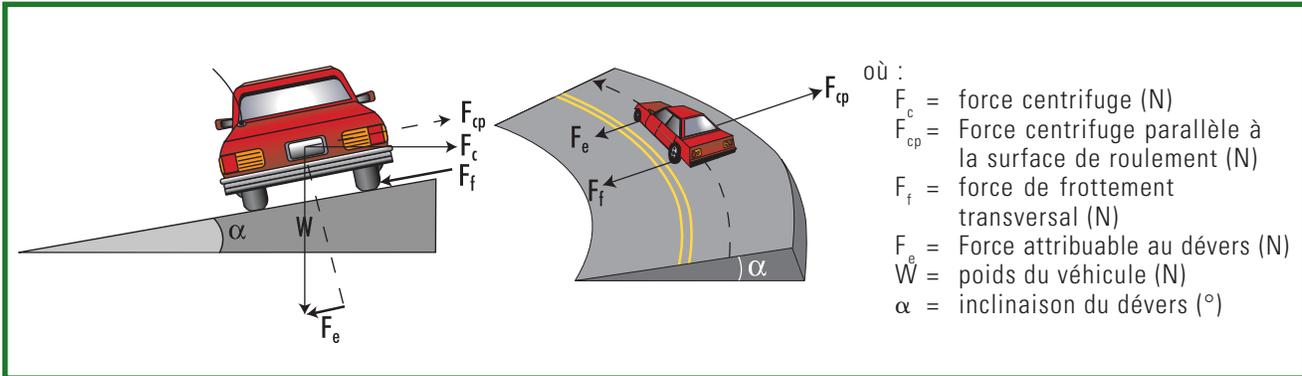
- Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes et Centre d'Études des Transports Urbains (1992)** *Sécurité des routes et des rues*. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, France.
- Spacek, P. (2000)** "Track behavior and accident occurrence in curves on two-lane highways in rural areas", Conference Proceedings, 2nd International Symposium on Highway Geometric Design, Mainz, Germany.
- TAC (1999)** *Geometric Design Guide for Canadian Roads*, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada.
- The Stationery Office (1993)** *Design manual for roads and bridges, Volume 6 - Road geometry, Section 1 - Links* (<http://www.official-documents.co.uk/document/deps/ha/dmrb/index.htm>)
- Yerpez, J. et Ferrandez, F. (1986)** *Caractéristiques routières et sécurité*, Synthèse INRETS No.2.
- Zegeer, C.V., Twomey, J.M., Heckman, M.L., et Hayward, J.C. (1992)** *Safety effectiveness of highway design features: Volume II, Alignment*, FHWA-RD-91-045, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Zegeer, C.V., Stewart, R., Reinfurt, D., Council, F., Neuman, T., Hamilton, E., Miller, T., et Hunter, W. (1990)** *Cost-effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves*, FHWA-RD-90-021, Federal Highway Administration, Washington, DC.

ANNEXES TRACÉ EN PLAN COURBES HORIZONTALES

ANNEXE TP-1 : DYNAMIQUE DES COURBES HORIZONTALES

Un véhicule qui circule dans une courbe est poussé vers l'extérieur de la route par l'effet de la force centrifuge. Cette force est contrebalancée par le frottement entre les pneus et la chaussée ainsi que par le dévers.

Figure TP-A1 Forces agissant sur un véhicule en courbe horizontale



En situation d'équilibre, on a le système de forces suivant :

$$F_{cp} = F_f + F_e$$

En développant chaque terme et puisque l'accélération centrifuge est égale à v^2/R , on obtient :

$$\frac{Wv^2}{gR} \cos\alpha = W \cos\alpha \times f_t + W \sin\alpha$$

où :

v = vitesse (m/s)

R = rayon de la courbure (m)

f_t = coefficient de frottement transversal

g = $9,8\text{m/s}^2$

En divisant chaque terme par $W \cos \alpha$ et selon $\tan \alpha = e$, on obtient :

$$\frac{v^2}{gR} = f_t + e$$

La vitesse en courbe horizontale peut donc être calculée comme une fonction de R , e et f_t :

$$V = \sqrt{127R(e + f_t)}$$

où :

V = vitesse (km/h)

e = dévers (m/m)

et le rayon de courbure minimal, comme une fonction de V , e et f_t :

$$R = \frac{V^2}{127(e + f_t)}$$

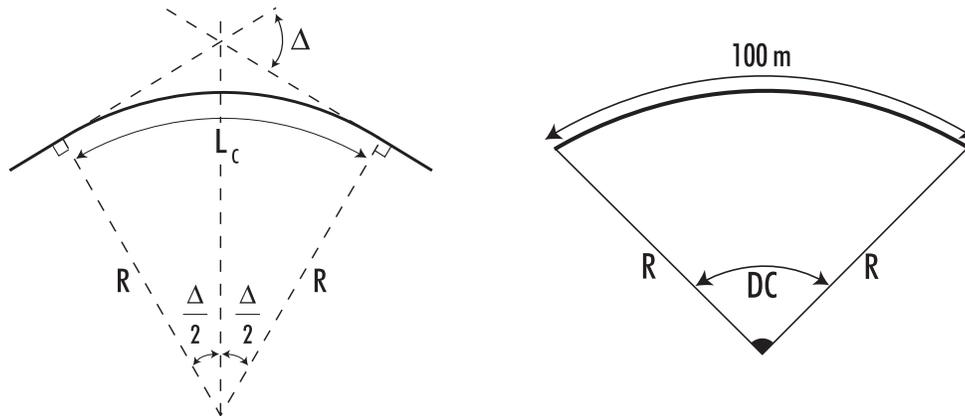
Des utilitaires de calcul ont été développés pour obtenir les valeurs de V et R .

[COURBE HORIZONTALE - RAYON ]

[COURBE HORIZONTALE - VITESSE ]

ANNEXE TP-2 : GÉOMÉTRIE DES COURBES HORIZONTALES CIRCULAIRES

Figure TP-A2 Géométrie des courbes circulaires



Un degré est égal à $1/360$ d'un cercle (système sexagésimal) tandis qu'un grade ou gon est égal à $1/400$ d'un cercle (système centésimal).

	Système sexagésimal	Système centésimal
Angle de déflexion (Δ)	$\Delta = \frac{L_c \times 180}{\pi R}$ (degrés)	$\Delta = \frac{L_c \times 200}{\pi R}$ (gons)
Longueur d'arc de cercle (L_c)	$L_c = \frac{\Delta \pi R}{180}$ (m)	$L_c = \frac{\Delta \pi R}{200}$ (m)
Rayon (R) Rayon d'arc de cercle	$R = \frac{L_c \times 180}{\Delta \pi}$ (m)	$R = \frac{L_c \times 200}{\Delta \pi}$ (m)
Degré de courbe (DC) DC = Angle de déviation d'un arc de 100 m	$DC = \frac{5\,730}{R}$ (degrés / 100 m)	$DC = \frac{6\,370}{R}$ (gons / 100 m)
Taux de changement de courbure (CCR) CCR = Angle de déviation d'un arc de 1 km	$CCR = \frac{57\,300}{R}$ (degrés / km)	$CCR = \frac{63\,700}{R}$ (gons / km)

Relations entre degrés, radians et gons

$$\alpha_{\text{rad}} = \alpha^{\circ} \times \frac{\pi}{180^{\circ}} \quad \begin{array}{l} 1^{\circ} = 0,0175 \text{ radian} \\ 1 \text{ radian} = 57,3^{\circ} \end{array}$$

$$\alpha_{\text{rad}} = \alpha^{\text{g}} \times \frac{\pi}{200^{\text{g}}} \quad \begin{array}{l} 1^{\text{g}} = 0,0157 \text{ radian} \\ 1 \text{ radian} = 63,7^{\text{g}} \end{array}$$

$$\alpha^{\circ} = \alpha^{\text{g}} \times \frac{180}{200^{\text{g}}} \quad \begin{array}{l} 1^{\text{g}} = 0,9^{\circ} \\ 1^{\circ} = 1,11^{\text{g}} \end{array}$$

ANNEXE TP-3A : CALCUL DES DIFFÉRENTIELS DE VITESSES (Lamm et al., 1999)

Routes rurales à 2 voies

Hypothèses de base :

- on suppose que la vitesse pratiquée en courbe est constante et on l'estime à l'aide d'une équation de régression. Le tableau TP-A1 présente les équations développées dans plusieurs pays;
- la même équation sert à calculer la vitesse du véhicule sur un alignement droit; il suffit d'utiliser $CCR = 0$ (taux de changement de courbure);
- les taux d'accélération et de décélération par défaut, à l'approche et à la sortie d'une courbe sont de $0,85 \text{ m/s}^2$.

Tableau TP-A1 Modèles de régression de vitesses pratiquées
Routes rurales à deux voies

PAYS	MODÈLE (km/h)	LIMITE DE VITESSE (km/h)
Allemagne	$V_{85} = \frac{10^6}{8\,270 + 8,01 \text{ CCR}}$	100
Australie	$V_{85} = 101,2 - 0,043 \text{ CCR}$	90
Canada	$V_{85} = e^{(4,561 - 5,27 \times 10^{-4} \text{ CCR})}$	90
États-Unis	$V_{85} = 103,04 - 0,053 \text{ CCR}$	90
France	$V_{85} = \frac{102}{1 + 346(\text{CCR}/63\,700)^{1,5}}$	90
Grèce	$V_{85} = \frac{10^6}{10\,150,1 + 8,529 \text{ CCR}}$	90
Liban	$V_{85} = 91,03 - 0,056 \text{ CCR}$	80

Source : Lamm et al. dans Highway design and traffic safety engineering handbook. Copyright 1999, McGraw-Hill Compagnies, Inc.

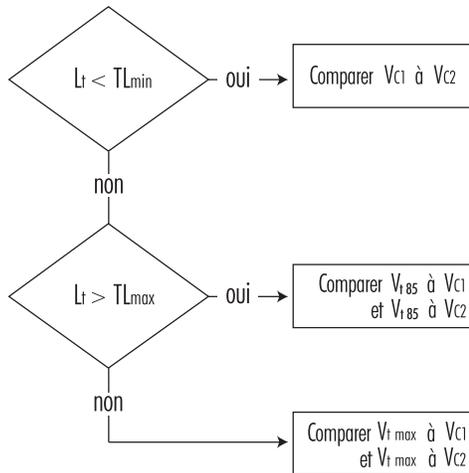
Procédure

Étape 1 - Calculer les paramètres suivants :

Tableau TP-A2 Description des paramètres

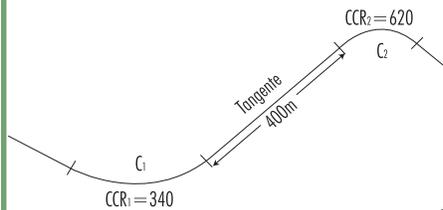
PARAMÈTRES	DESCRIPTION	SOURCE
V_{C1}	Vitesse pratiquée dans la courbe 1	Équations du Tableau TP-A1
V_{C2}	Vitesse pratiquée dans la courbe 2	Équations du Tableau TP-A1
L_t	Longueur de tangente entre deux courbes	Mesures au site / mesure sur plans / données
V_{t85}	Vitesse désirée	Équations du Tableau TP-A1, $CCR = 0$
TL_{\min}	Longueur de tangente nécessaire pour aller d'une vitesse initiale (V_{C1}) à une vitesse finale (V_{C2}) à un taux d'accélération ou de décélération de a .	$TL_{\min} = \left \frac{V_{C1}^2 - V_{C2}^2}{25,92 \times a} \right $ ou $TL_{\min} = \left \frac{V_{C1}^2 - V_{C2}^2}{25,92 \times d} \right $
TL_{\max}	Longueur de tangente pour accélérer d'une vitesse initiale (V_{C1}) à une vitesse désirée (V_{t85}) et pour décélérer à une vitesse finale (V_{C2}) à des taux d'accélération et décélération de a et d .	$TL_{\max} = \left \frac{V_{C1}^2 - V_{t85}^2}{25,92 \times a} \right + \left \frac{V_{t85}^2 - V_{C2}^2}{25,92 \times d} \right $
$V_{t \max}$	Vitesse maximale atteinte si la longueur de la tangente ne permet pas d'atteindre la vitesse désirée.	$V_{t \max} = \sqrt{\frac{V_{C1}^2 + V_{C2}^2 + 25,92 \times a \times L_t}{2}}$

Étape 2 : Suivre l'algorithme suivant :



Exemples

CAS 1



2 courbes :
 $CCR_1 = 340$
 $CCR_2 = 620$

Séparées par une tangente de 400 m

Équation de vitesse française :

$$\begin{aligned} V_{C1} &= 90 \text{ km/h} \\ V_{C2} &= 77 \text{ km/h} \\ L_t &= 400 \text{ m} \end{aligned}$$

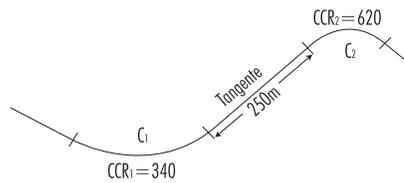
$$\begin{aligned} V_{t85} &= 102 \text{ km/h} \\ TL_{\min} &= 99 \text{ m} \\ TL_{\max} &= 308 \text{ m} \\ V_{t_{\max}} &= 106 \text{ km/h} \\ L_t < TL_{\min} &? \text{ non} \\ L_t > TL_{\max} &? \text{ oui} \end{aligned}$$

Donc, comparer :
 V_{t85} à V_{C1} ; V_{t85} à V_{C2}

102 km/h vs 90 km/h
(acceptable)

102 km/h vs 77 km/h
(mauvais)

CAS 2



2 courbes :
 $CCR_1 = 340$
 $CCR_2 = 620$

Séparées par une tangente de 250 m

Équation de vitesse française :

$$\begin{aligned} V_{C1} &= 90 \text{ km/h} \\ V_{C2} &= 77 \text{ km/h} \\ L_t &= 250 \text{ m} \end{aligned}$$

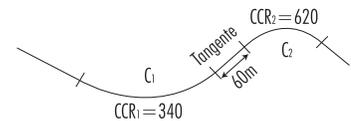
$$\begin{aligned} V_{t85} &= 102 \text{ km/h} \\ TL_{\min} &= 99 \text{ m} \\ TL_{\max} &= 308 \text{ m} \\ V_{t_{\max}} &= 99 \text{ km/h} \\ L_t < TL_{\min} &? \text{ non} \\ L_t > TL_{\max} &? \text{ non} \end{aligned}$$

Donc, comparer :
 $V_{t_{\max}}$ à V_{C1} ; $V_{t_{\max}}$ à V_{C2}

99 km/h vs 90 km/h
(bon)

99 km/h vs 77 km/h
(mauvais)

CAS 3



2 courbes :
 $CCR_1 = 340$
 $CCR_2 = 620$

Séparées par une tangente de 60 m

Équation de vitesse française :

$$\begin{aligned} V_{C1} &= 90 \text{ km/h} \\ V_{C2} &= 77 \text{ km/h} \\ L_t &= 60 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{t85} &= 102 \text{ km/h} \\ TL_{\min} &= 99 \text{ m} \\ TL_{\max} &= 308 \text{ m} \\ V_{t_{\max}} &= 88 \text{ km/h} \\ L_t < TL_{\min} &? \text{ oui} \end{aligned}$$

Donc, comparer :
 V_{C1} à V_{C2}

90 km/h vs 77 km/h
(acceptable)

ANNEXE TP-3B : CALCUL DES DIFFÉRENTIELS DE VITESSES (ESPAGNE) :

- Déterminer V_{99} dans la courbe, en fonction de l'équation :

$$V_{99} = \sqrt{127R(0,25 + e)}$$

- Sur la tangente qui précède, déterminer V_{99} , qui est une fonction de D_t , où

$$D_t = D + D_a + D_s$$

où :

D = longueur de tangente (distance entre deux courbes)

D_a = distance pour accélérer depuis V_{99} dans la courbe précédant la tangente (V_{99} calculée au moyen de l'équation du point 1 ci-dessus); cette distance est indiquée à la figure TP-A4).

D_s = distance nécessaire pour accélérer depuis V_{99} dans la courbe à l'étude (V_{99} calculée au moyen de l'équation du point 1 ci-dessus; cette distance est indiquée à la figure TP-A5).

La vitesse V_{99} , dans la tangente qui précède est indiquée à la figure TP-A3.

- Comparer V_{99} dans la tangente qui précède et V_{99} dans la courbe (d'après le **tableau TP-2**).

Figure TP-A3 Vitesse pratiquée dans la tangente précédente (V_{99})

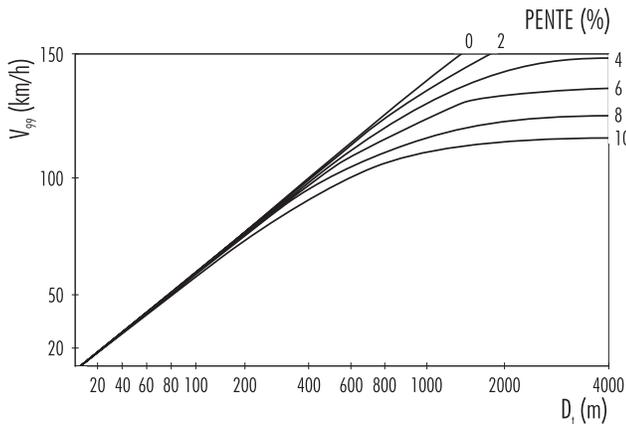


Figure TP-A4 Distance pour accélérer depuis V_{99} dans la courbe précédant la tangente

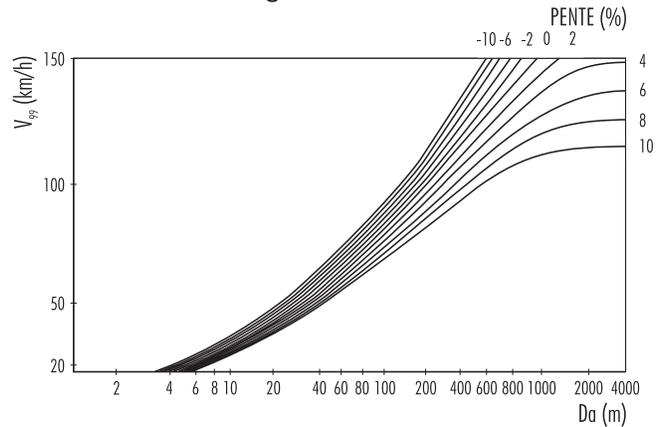
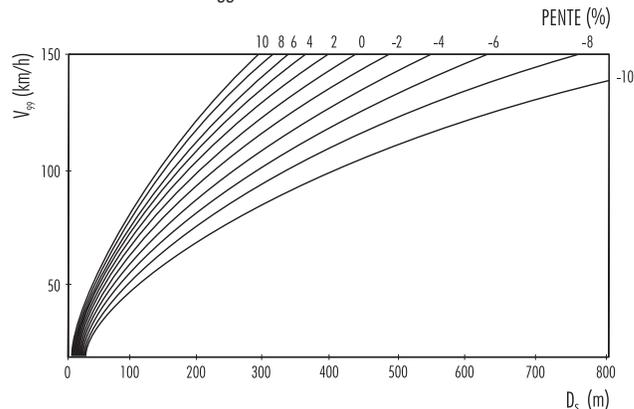


Figure TP-A5 Distance pour décélérer jusqu'à V_{99} dans la courbe à l'étude



ANNEXE TP-4 : ABORDS DE ROUTE ET VISIBILITÉ EN COURBE HORIZONTALE

Il existe une relation mathématique entre le dégagement latéral (DL) sur le côté intérieur des abords de courbes horizontales et la distance de visibilité disponible. Les équations diffèrent si la distance de visibilité d'arrêt (S) est inférieure ou supérieure à la longueur de la courbe (L_c).

Pour $S < L_c$

$$DL = R \times \left(1 - \cos \frac{90 \times S}{\pi \times R} \right)$$

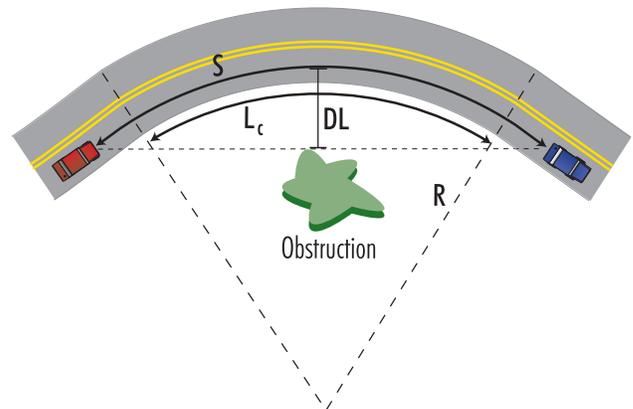
Pour $S > L_c$

$$DL = R \times \left(1 - \cos \frac{90 \times L_c}{\pi \times R} \right) + \left(\frac{S - L_c}{2} \right) \times \sin \frac{90 \times L_c}{\pi \times R}$$

où :

- S = distance d'arrêt
- L_c = longueur de la courbe
- DL = dégagement latéral
- R = rayon de courbe

Figure TP-A6 Distance de visibilité en courbe horizontale



PROFIL EN LONG

ALIGNEMENT VERTICAL

Fiche technique

Patrick Barber et Carl Bélanger

PROFIL EN LONG – ALIGNEMENT VERTICAL

Fiche technique

	Page
RÉSUMÉ	359
PENTES DESCENDANTES	361
→ Généralités	361
→ Signalisation	362
→ Drainage	362
→ Aires de vérification des freins	363
→ Lits d'arrêt	364
PENTES MONTANTES	365
→ Généralités	365
→ Voies pour véhicules lents	366
→ Drainage	367
COURBES VERTICALES	368
→ Généralités	368
→ Dépassement	369
→ Drainage	370
RÉFÉRENCES	371
ANNEXES	373
→ Annexe PL-1: Paramètres de conception du profil en long	374
→ Annexe PL-2: Température des freins dans les descentes	375
→ Annexe PL-3: Vitesse des véhicules lourds dans les montées	379
→ Annexe PL-4: Visibilité dans les courbes verticales	382

LISTE DES FIGURES

Figure PL-1	Exemples – Profils en long	359
Figure PL-2	Définitions	359
Figure PL-3	Aire de vérification des freins	363
Figure PL-4	Types de lits d'arrêt	364
Figure PL-5	Exemple – Signalisation et marquage à un lit d'arrêt	364
Figure PL-6	Courbes de décélération	365
Figure PL-7	Exemple de résultats – «Analyse des pentes»	365
Figure PL-8	Exemples – Signalisations et marquage d'une voie pour véhicules lents	366
Figure PL-9	Voie pour véhicules lents – Gestion de la circulation	367
Figure PL-10	Exemples – Valeurs de K	368
Figure PL-11	Visibilité restreinte en courbes saillantes et rentrantes	368
<hr/>		
Figure PL-A1	Véhicule en pente descendante	375
Figure PL-A2	Facteurs affectant la température des freins	377
Figure PL-A3	Temps de refroidissement des freins	378
Figure PL-A4	Système de force – Véhicule en pente ascendante	379
Figure PL-A5	Courbes de décélération et d'accélération (camion de 180 kg/kW)	380
Figure PL-A6	Courbes de décélération selon le ratio masse/puissance	381
Figure PL-A7	Évolution du ratio masse/puissance	381

LISTE DES TABLEAUX

Tableau PL-1	Exemples – Distances d'arrêt	361
Tableau PL-2	Signalisation des pentes – Consignes générales	362
<hr/>		
Tableau PL-A1	Pentes maximales – Routes en milieu rural	374
Tableau PL-A2	Valeurs minimales de K – Courbes saillantes	374
Tableau PL-A3	Valeurs minimales de K – Courbes rentrantes	374

LISTE DES ABRÉVIATIONS

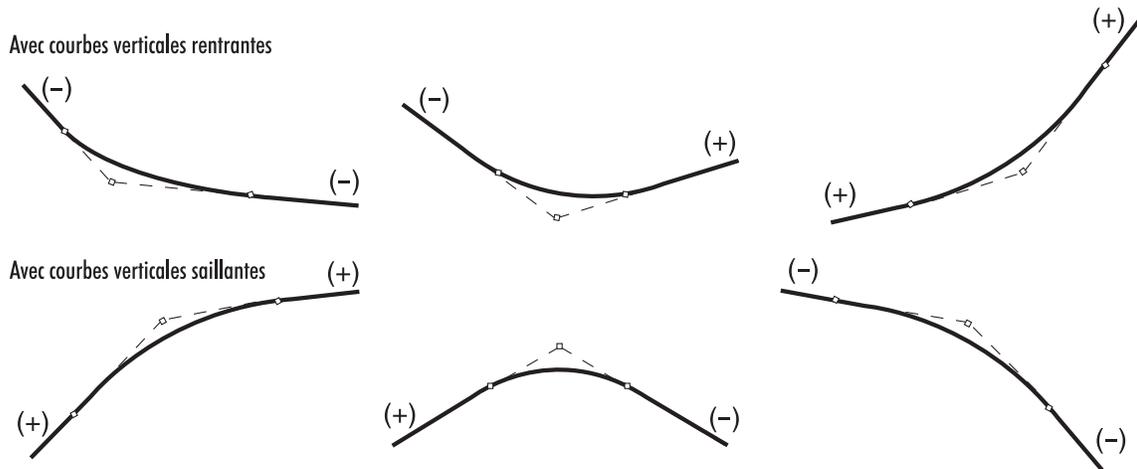
a_c	= accélération en roue libre (pi/s^2)
a_p	= accélération limitée par la puissance (pi/s^2)
A	= différence algébrique des pentes de tronçons droits consécutifs $ G1 - G2 $
A_f	= aire frontale du véhicule (pi^2)
C	= dégagement vertical entre la route et la structure qui la surplombe (m)
C_{de}	= facteur de correction pour l'altitude (résistance de l'air)
C_{pe}	= facteur de correction pour l'altitude (puissance nette du moteur)
d	= intervalle de distance (m)
E	= énergie (J)
E_{cin}	= énergie cinétique (J)
E_{pot}	= énergie potentielle (J)
f_l	= coefficient de frottement longitudinal
F_a	= résistance de l'air (N)
F_d	= effort de traction (N)
F_g	= résistance de la pente (N)
F_r	= résistance au roulement (N)
F_{tot}	= résistance totale (N)
g	= constante gravitationnelle ($9,8 \text{ m/s}^2$)
G	= pourcentage de pente (%)
h_1	= hauteur des yeux des conducteurs (m)
h_2	= hauteur de l'objet considéré (m)
h_3	= hauteur des phares (m)
K	= distance horizontale nécessaire pour produire un changement de pente de 1%
$k1, k2$	= constantes
L	= longueur horizontale de la courbe verticale (m)
m	= masse du véhicule (kg)
NHP	= puissance nominale nette au niveau de la mer (hp)
P_B	= puissance de freinage (hp)
P_E	= puissance de freinage du moteur (hp)
P_F	= puissance de frottement (hp)
P_g	= puissance due à la pente (hp)
R	= rayon de la courbe verticale (m)
S	= distance de visibilité (m)
S_p	= +1 ou -1, selon le signe de a_p
t	= temps (s)
t_r	= temps de réaction (s)
T_a	= température ambiante ($^{\circ}\text{F}$)
T_i	= température initiale des freins ($^{\circ}\text{F}$)
$T(t)$	= température des freins à l'instant t ($^{\circ}\text{F}$)
v	= vitesse du véhicule (m/s ou pi/s)
V	= vitesse (mi/h)
V_f	= vitesse finale (km/h)
V_i	= vitesse initiale (km/h)
W	= poids du véhicule (lb)
x	= distance horizontale (m)
y	= dénivelé de la pente (m)

RÉSUMÉ

Principes généraux

Le profil en long d'une route comprend des segments rectilignes (plats ou inclinés), reliés par des courbes verticales saillantes ou rentrantes. Les combinaisons de ces éléments prennent différentes formes (figure PL-1).

Figure PL-1 Exemples – Profils en long



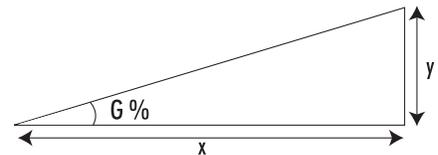
Ce profil se caractérise par le pourcentage de pente (G), la hauteur du dénivelé (y) et la valeur K (figure PL-2). On trouvera à l'annexe PL-1 les valeurs maximales de G et K qui sont recommandées dans divers pays.

Figure PL-2 Définitions

SEGMENTS DROITS

$$G = 100 \times \frac{y}{x} \quad [\text{Eq. PL-1}]$$

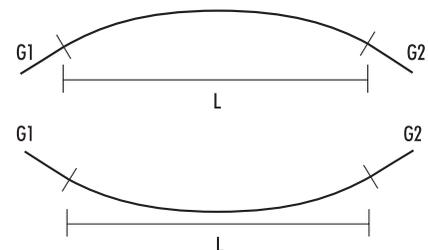
où:
 G = pourcentage de pente (%)
 y = hauteur du dénivelé (m)
 x = distance horizontale (m)



COURBES VERTICALES

$$K = L/A \quad [\text{Eq. PL-2}]$$

où:
 K = distance horizontale nécessaire pour produire un changement de pente de 1%
 L = longueur horizontale de la courbe verticale (m)
 A = différence algébrique des pentes de tronçons droits consécutifs
 $= |G1 - G2|$



Accidents

- Les fréquences d'accidents sont plus élevées dans les pentes que dans les tronçons plats. Elles augmentent également en fonction du pourcentage de pente, à raison de 1,6 % par pourcentage de pente, selon une étude de Harwood et al., (2000).
- La fréquence et la gravité des accidents sont plus élevées en descente qu'en montée et impliquent un nombre important de véhicules lourds.
- La différence de hauteur entre le haut et le bas d'une pente (dénivelé) est un meilleur indicateur de risque d'accident que le pourcentage de pente (Service d'études techniques des routes et autoroutes, 1997).

Observations

Les principaux éléments à prendre en considération lors de l'analyse d'une pente sont :

- **pententes descendantes** : augmentation des distances de freinage et, pour les véhicules lourds, la possibilité de surchauffe des freins;
- **pententes montantes** : différence de vitesses entre véhicules particuliers et véhicules lourds;
- **courbes saillantes** : réduction des distances de visibilité;
- **courbes rentrantes** : accumulation d'eau et érosion accélérée de l'accotement due à l'écoulement des eaux de pluie.

La présente fiche technique traite de ces divers problèmes.

Combinaison de caractéristiques

Il est plus difficile, du fait de l'accélération attribuable à l'action de la force gravitationnelle, de ralentir ou d'immobiliser un véhicule dans une pente descendante. Comme principe de base, on évitera donc d'y aménager des éléments pouvant exiger de telles manœuvres :

- intersection ou autre type de traverse (chemin de fer, passage piéton, piste cyclable, etc.);
- courbe raide;
- structures étroites (pont, tunnel, viaduc, etc.).

La situation est pire si l'élément en question se trouve dans la partie inférieure de la descente, où les vitesses sont maximales et les possibilités de surchauffe des freins plus importantes.



Modification d'un tracé visant à supprimer une courbe de faible rayon au bas d'une pente raide.

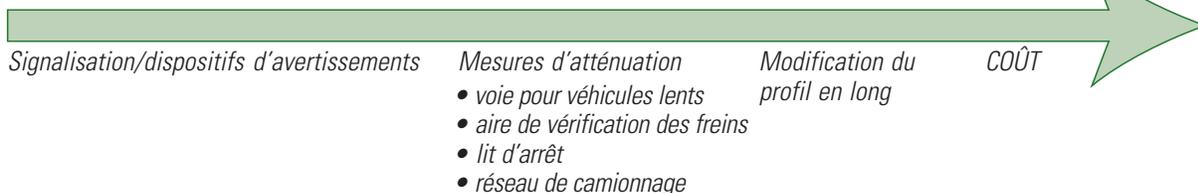
Solutions possibles

La modification d'un profil en long coûte souvent trop cher pour être envisageable. Selon un rapport synthèse américain (Transportation Research Board, 1987), une telle intervention peut être envisagée lorsque :

- a) le sommet de la pente dissimule un obstacle majeur tel une intersection, une courbe raide ou un pont étroit;
- b) le débit moyen est supérieur à 1 500 véhicules par jour;
- c) et la vitesse de conception, au sommet de la pente (basée sur la distance minimale de visibilité d'arrêt disponible), est inférieure par plus de 20 mph (32 km/h) à la vitesse des véhicules à cet endroit.

Dans la plupart des cas, des mesures de correction moins coûteuses seront mises en œuvre (signalisation, aire de vérification des freins, voie pour véhicules lents en montée ou en descente, lit d'arrêt, etc.).

Comme les problèmes de sécurité dans les pentes concernent surtout les véhicules lourds, il est aussi possible d'envisager des solutions visant à limiter leur passage aux emplacements dangereux, si la configuration du réseau le permet (routes réservées au trafic lourd). L'usage obligatoire d'un frein moteur est une autre option envisageable.



PENTES DESCENDANTES – GÉNÉRALITÉS

En termes de sécurité, les principaux éléments à considérer en descente sont l'allongement des distances d'arrêt et la possibilité de surchauffe des freins des véhicules lourds (*Annexe PL-2*).

Distance d'arrêt

L'allongement de la distance d'arrêt peut être important. Ainsi par exemple, le Tableau PL-1, montre que pour une vitesse initiale de 100 km/h et un coefficient de frottement de 0,28, la distance d'arrêt augmente de 37 % (78 m) entre une pente de 10 % et une route en terrain plat.

[DISTANCE DE FREINAGE (TANGENTE) ] ¹⁾

Échauffement des freins (véhicules lourds)

La température critique des freins est d'environ 260 °C. Au-dessus de cette température, leur efficacité est réduite par la combinaison de différents phénomènes, dont l'expansion et la déformation des matériaux. Différents modèles mathématiques ont été mis au point pour estimer le profil de température des freins dans les pentes descendantes. L'utilitaire de calcul « analyse des pentes », qui est inclus à la version CD-Rom du manuel, est basé sur le modèle développé par Myers et al. (1980), dans lequel la température des freins dépend des facteurs suivants :

- pourcentage et longueur de la pente;
- compression moteur (et ralentisseur);
- vitesse de descente;
- température initiale des freins;
- masse du véhicule;
- arrêt d'urgence en descente.

[ANALYSE DES PENTES ]

Tableau PL-1 Exemples – Distances d'arrêt

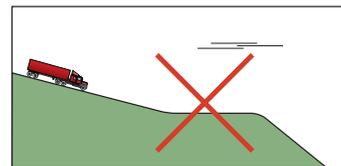
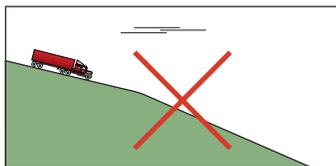
POURCENTAGE DE PENTE (%)	DISTANCE D'ARRÊT (m)
0	210
5	241
10	288

(Vitesse initiale : 100 km/h, temps de réaction : 2,5 sec., coefficient de frottement : 0,28).

L'*annexe PL-2* décrit l'influence de chacun de ces facteurs sur la température des freins.

Pentes composées

Certaines combinaisons de pentes composées peuvent surprendre les conducteurs s'ils ne voient pas les caractéristiques du profil à venir avant d'amorcer leur descente. Les



conducteurs de véhicules lourds, qui ne sont pas familiers avec les lieux, pourront alors amorcer leur descente à une vitesse qui est trop élevée pour les caractéristiques de la pente. Des cas typiques incluent une pente raide précédée d'une pente douce ou d'un court segment plat.

Comment détecter les problèmes

Accidents :

- accidents impliquant un véhicule lourd ; perte de contrôle.

Circulation :

- différentiels de vitesses importants entre les véhicules lourds et les automobiles;
- vitesses excessives, pelotons, manœuvres de dépassement dangereuses.

Caractéristiques de la route :

- pourcentages de pentes plus élevés que les valeurs recommandées dans les normes;
- caractéristiques inattendues (première pente raide, pentes composées).

Mesures possibles :

voir *Résumé – Solutions possibles*

¹⁾ L'utilitaire de calcul «distance de freinage» permet de calculer la distance d'arrêt lorsque la vitesse finale est égale à 0.

SIGNALISATION

Description

Les conducteurs de véhicules lourds doivent être informés à l'avance des caractéristiques du profil vertical, afin qu'ils puissent réduire leur vitesse avant de commencer leur descente, évitant ainsi les manoeuvres de décélération difficiles dans la pente. Le tableau PL-2 indique des consignes générales à ce sujet.

Les panneaux ne doivent pas être placés trop loin du début de la pente, sinon ils risquent d'être ignorés. Les distances d'installation doivent être adaptées aux vitesses pratiquées. Selon Baass (1993), les panneaux devraient se trouver entre 25 m (30 km/h) et 200 m (100 km/h) avant le début de la pente.

Comment détecter les problèmes

Accidents :

- accidents impliquant un véhicule lourd ; perte de contrôle.

Circulation :

- vitesses excessives, freinage tardif.

Caractéristiques de la route :

Vérifier :

- la conformité aux normes (panneau manquant ou superflu, dimension, emplacement);
- visibilité et perceptibilité des panneaux et autres équipements;
- état des panneaux (usés, brisés, sales, sans réflectivité).
- niveau d'avertissement adapté aux caractéristiques de la route;

DRAINAGE

Description

Les installations de drainage dans les pentes doivent permettre l'élimination rapide de l'eau sur la chaussée et empêcher son érosion accélérée.

La capacité de drainage doit être adaptée aux plus fortes précipitations pouvant normalement être attendues dans la région.

Les structures de drainage ouvertes ou profondes, situées à proximité des voies de circulation, doivent être évitées car elles constituent des obstacles rigides pouvant aggraver les accidents.

Les structures de drainage doivent être entretenues régulièrement pour éviter leur engorgement.

Voir aussi *Courbes verticales – drainage*

Tableau PL-2 Signalisation des pentes Consignes générales

PENTE LONGUE

Indiquer le pourcentage et la longueur de la pente



(Europe)

Répéter les panneaux à intervalles réguliers

PENTE COMPOSÉE

Indiquer les pourcentages de chacune des pentes

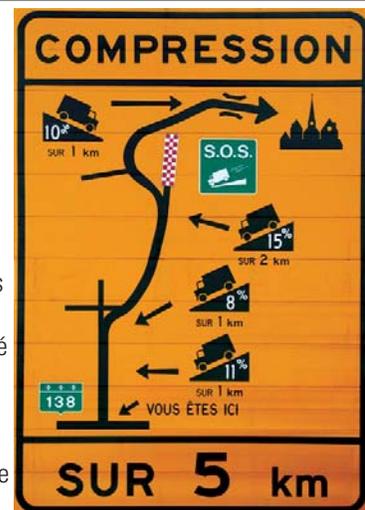


(Amérique du nord)

DANGER AU BAS

Indiquer à l'avance la présence du danger (intersection, passage à niveau, courbe raide, etc.).

Panneau de signalisation à une aire de vérification des freins (Québec). Le véhicule est immobilisé à l'extérieur des voies de circulation et le conducteur a donc le temps de décoder cette information.



Installation de drainage dangereuse sur une route étroite en pente

Comment détecter les problèmes (drainage)

Accidents:

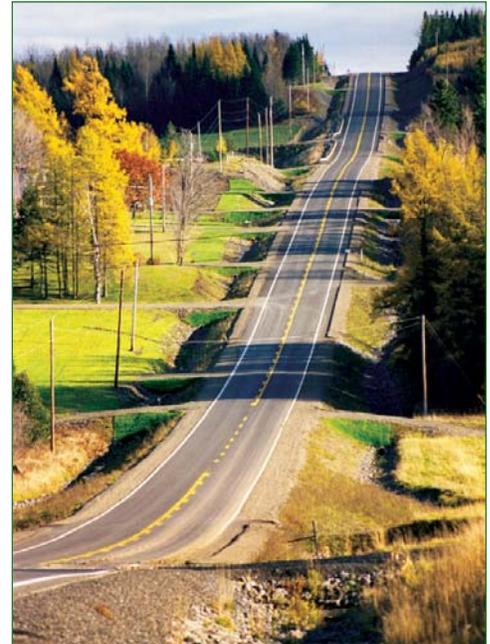
- accidents sur chaussée humide.

Caractéristiques de la route:

- capacité des installations de drainage en fonction des conditions de pluie (accumulation d'eau ou de débris, érosion);
- structures de drainage dangereuses (structures ouvertes et profondes près des voies de circulation).

Mesures possibles

- correction des défauts de la surface;
- rainures transversales;
- amélioration des installations de drainage (en améliorer la capacité, en réduire la dangerosité).



La présence de nombreux accès et les caractéristiques des installations de drainage accroissent le risque et le potentiel de gravité des accidents

AIRES DE VÉRIFICATION DES FREINS

Description

Ces aires, construites au haut de longues pentes raides, permettent aux conducteurs de véhicules lourds de s'immobiliser à l'écart de la circulation pour y vérifier l'état de leur système de freinage.

En plus de permettre la détection de problèmes mécaniques évidents (odeur de brûlé, fumée), les aires de vérification des freins offrent aussi les avantages suivants :

- elles forcent les conducteurs à amorcer leur descente à partir d'un arrêt, éliminant ainsi les risques de vitesses initiales excessives;
- comme elles sont aménagées à l'écart de la circulation, on peut y présenter une information détaillée sur la configuration de la pente à venir et de ses difficultés (figure PL-2).

Pour atteindre les objectifs visés, l'arrêt à ces aires de vérification doit être obligatoire.

Figure PL-3 Aire de vérification des freins



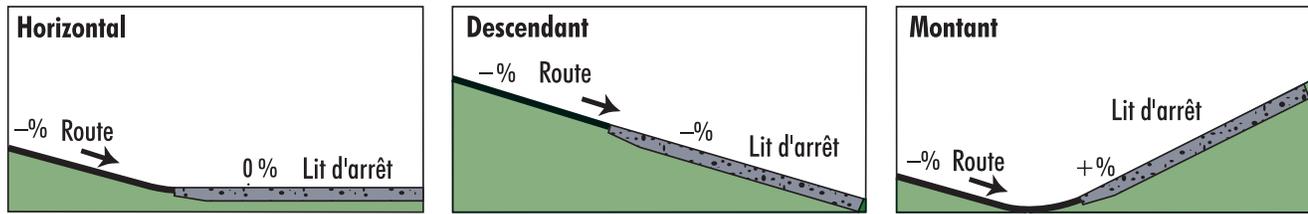
LITS D'ARRÊT

Description

Un lit d'arrêt est un aménagement implanté en bordure de la route pour immobiliser par enlèvement les véhicules lourds en détresse. La surface de ces équipements routiers est généralement recouverte de matériau granulaire rond, de 5 mm à 10 mm de diamètre, qui offre plus de résistance au roulement que le sable, réduisant ainsi la longueur du lit d'arrêt. Tout dépendant de la configuration des lieux, le lit d'arrêt peut être horizontal, montant ou descendant (figure PL-4). Le lit d'arrêt montant réduit les distances d'arrêts, mais il est alors impératif d'utiliser un matériau de surface qui empêche le retour du véhicule sur la route.

[FILM - LIT D'ARRÊT ]

Figure PL-4 Types de lits d'arrêt



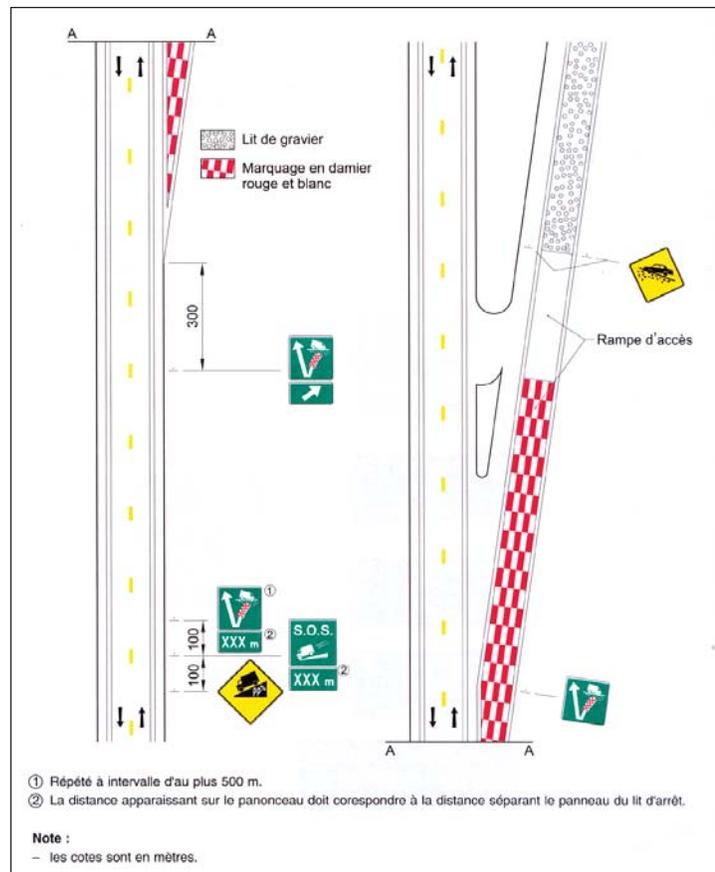
La construction d'un lit d'arrêt devrait être envisagée lorsque :

- les possibilités de pertes de contrôle des véhicules lourds sont fortes (d'après les **analyses d'accidents** et les **profils de température des freins**);
[ANALYSE DES PENTES 
- les conséquences d'éventuelles pertes de contrôle peuvent être graves (p. ex. à l'entrée d'un village).

Ils devraient de préférence être aménagés sur des tronçons droits, car leur emplacement en courbe ne ferait qu'ajouter aux difficultés de manœuvre d'un conducteur de véhicule en détresse.

Une signalisation et un marquage appropriés doivent être prévus à l'approche d'un lit d'arrêt pour en identifier la présence et guider les conducteurs en difficulté. Il faut de plus implanter une signalisation pour informer les autres usagers de ne pas s'y aventurer (les lits d'arrêts sont souvent construits à un endroit offrant une vue panoramique susceptible d'attirer les touristes qui ne sont pas nécessairement familiers avec ce genre d'aménagement).

Figure PL-5 Exemple – Signalisation et marquage à un lit d'arrêt



Source: Ministère des transports du Québec, 1999

PENTES MONTANTES – GÉNÉRALITÉS

La vitesse maximale à laquelle un véhicule peut gravir une pente est fonction de son rapport masse/puissance. Pour la plupart des automobiles, ce rapport est suffisamment faible pour leur permettre de maintenir une vitesse constante dans une majorité de pentes. Cependant, il est beaucoup plus élevé pour les véhicules lourds, ce qui entraîne leur ralentissement.

On utilise généralement, à l'étape de conception, des rapports de 180 kg/kW ou 8,0 hp/tonne pour déterminer les accélérations et les décélérations des véhicules lourds dans les pentes. Un exemple de courbes de décélération est illustré à la figure PL-6. Le taux de décélération et la réduction de vitesse augmentent rapidement en fonction du pourcentage de pente.

Des modèles mathématiques ont été développés pour estimer le profil de vitesse d'un véhicule en fonction de son rapport masse/puissance. L'utilitaire de calcul « **analyse des pentes** » calcule les profils de vitesse à l'aide de la méthode développée par Allen et al. (2000) (voir **annexe PL-3** pour plus de détails).

Comment détecter les problèmes

• Accidents :

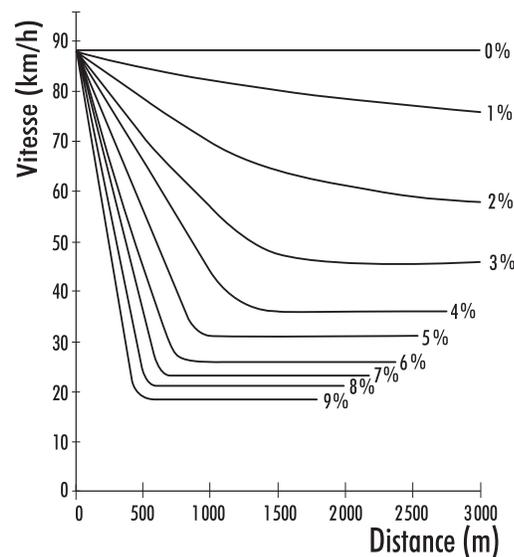
- collisions arrière;
- collisions frontales.

[ANALYSE DES PENTES ]

• Circulation :

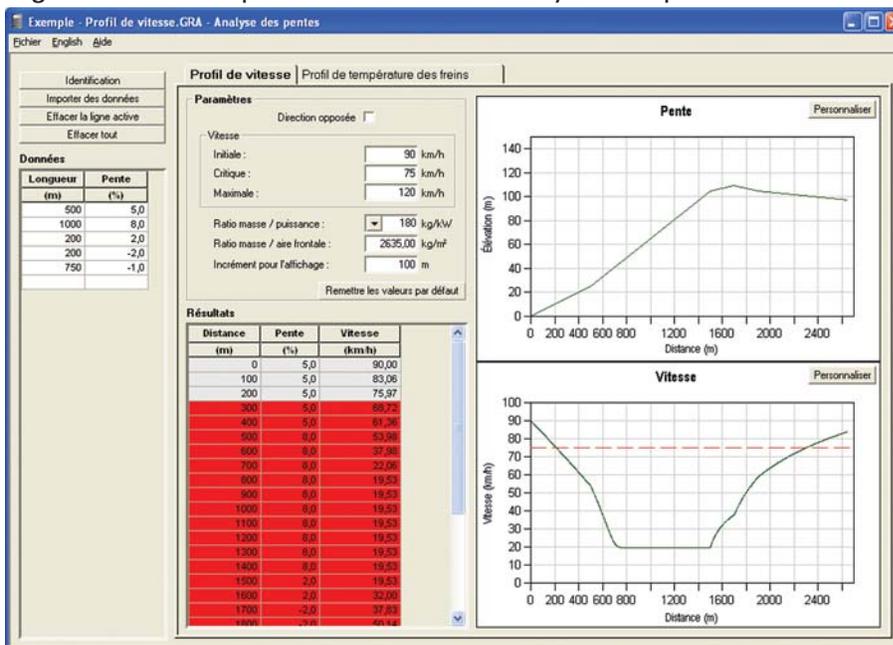
- différences de vitesses significatives;
- pelotons, dépassements dangereux;
- calculer le profil de vitesse d'un véhicule lourd type.

Figure PL-6 Courbes de décélération



Source : A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Copyright 1994, par l'American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reproduit avec permission.

Figure PL-7 Exemple de résultats « Analyse des pentes »



Mesures possibles

Signalisation
(distance de voie de la dépassement)

Voie pour véhicules lents

Modification
du profil en long

COÛT

VOIES POUR VÉHICULES LENTS

Description

Des voies auxiliaires peuvent être aménagées dans les pentes montantes pour permettre le dépassement sécuritaire des véhicules lents.

Les critères justifiant la construction d'une telle voie varient selon le pays; ils sont établis en comparant la vitesse de montée d'un véhicule lent à l'un ou l'autre des paramètres suivants :

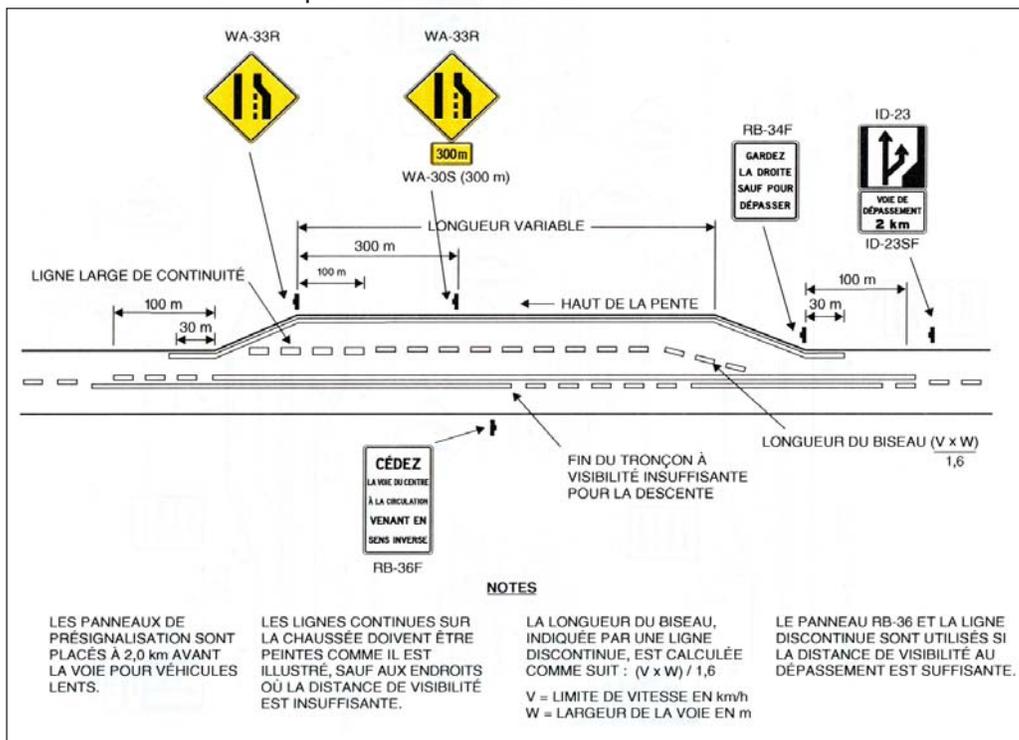
- vitesse minimale absolue;
- vitesse du véhicule lourd avant la pente;
- vitesse de montée d'un véhicule particulier.

Outre les différences de vitesses, les débits (total et véhicules lourds) sont souvent être pris en compte.



Exemple de voie pour véhicules lents

Figure PL-8 Exemple – Signalisation et marquage d'une voie pour véhicules lents



Source: Association des Transports du Canada, 1998

Combinaison de caractéristiques

La présence d'une voie pour véhicules lents est susceptible d'encourager les dépassements à vitesses élevées, ce qui est incompatible avec les vitesses plus lentes des véhicules qui quittent ou accèdent à la route. Il faut donc éviter d'y juxtaposer des intersections, ou autres points d'accès.



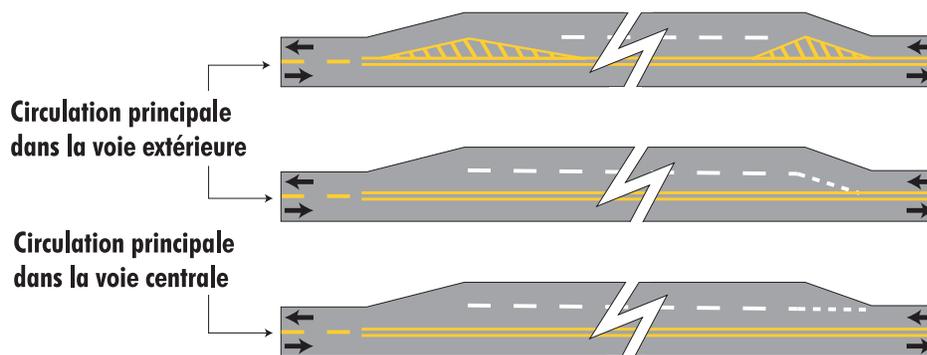
Éviter la combinaison d'une intersection et voie pour véhicules lents dans une pente

Gestion de la circulation (voies pour véhicules lents)

La gestion de la circulation dans les voies pour véhicules lents peut s'effectuer de deux façons :

- circulation principale dans la voie extérieure (la voie centrale est réservée aux dépassements);
- circulation principale dans la voie centrale (la voie extérieure est réservée aux véhicules lents).

Figure PL-9 Voie pour véhicules lents – Gestion de la circulation



Il vaut mieux réserver la voie extérieure à la circulation principale puisqu'il s'agit du mode de gestion du trafic utilisé ailleurs sur l'ensemble du réseau (les véhicules restent dans la voie extérieure sauf pour dépasser).

Pour améliorer l'efficacité et la sécurité des voies pour véhicules lents, il faut :

- informer les conducteurs à l'avance de la présence d'une telle voie (p. ex. figure PL-8);
- les informer à l'avance de la fin de cette voie (p. ex. figure PL-8);
- éviter de terminer la voie pour véhicules lents à un endroit où il ne serait pas possible de compléter ou d'avorter une manœuvre de dépassement de façon sécuritaire (dû à une distance de visibilité insuffisante).

Sécurité

Les études disponibles indiquent que les voies pour véhicules lents peuvent réduire la fréquence d'accidents de 5% à 15% (Hauer et al., 1996; Lamm et al, 1999).

PENTES MONTANTES – DRAINAGE

Voir *Pentes descendantes – drainage*

COURBES VERTICALES – GÉNÉRALITÉS

Description

Les tronçons rectilignes du profil en long (plats ou inclinés), qui ont des pourcentages d'inclinaison distincts, sont reliés par des courbes verticales saillantes ou rentrantes (*figure PL-1*).

Ces courbes sont caractérisées par leur valeur K^1 . Plus cette valeur diminue, plus la courbe est prononcée et plus la distance de visibilité est limitée. La relation entre la géométrie des courbes verticales et la distance de visibilité est décrite en *annexe PL-4*.

Les restrictions de visibilité sont plus fréquentes dans les courbes saillantes que dans les courbes rentrantes, où des problèmes peuvent néanmoins résulter soit de l'angle du faisceau lumineux des phares d'un véhicule (la nuit) ou encore de la présence de structures surplombant la chaussée (viaduc, panneau de signalisation, etc.). Ce dernier point est plus fréquemment problématique pour les véhicules lourds, puisque la position du conducteur y est plus élevée que dans un véhicule particulier.

Comme partout ailleurs sur le réseau, la distance de visibilité doit, en tout point d'une courbe verticale, être au moins égale à la distance d'arrêt, ce qui exige que les valeurs minimales de K soient adaptées aux vitesses de conception. On trouvera à l'*annexe PL-1*, les valeurs K recommandées dans divers pays.

Sécurité

Selon Olson et al. (1984), la fréquence d'accidents dans les courbes saillantes où la distance de visibilité est réduite est plus élevée de 52 % que dans celles où la visibilité n'est pas restreinte.

Figure PL-10 Exemples – Valeurs de K

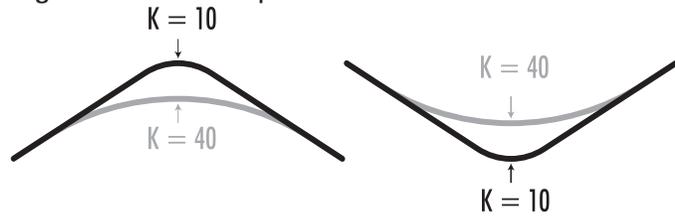
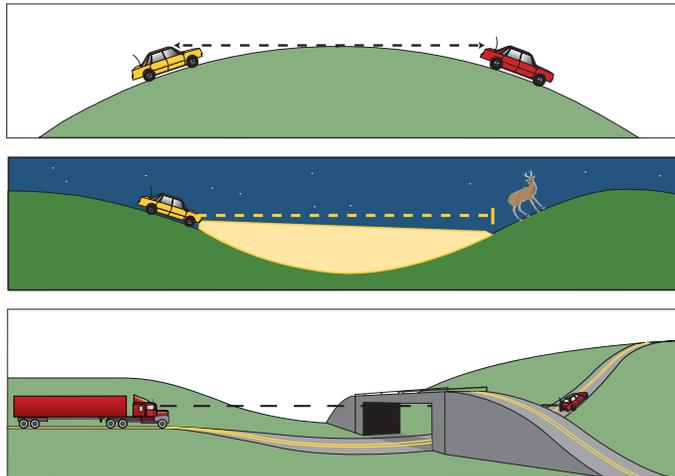


Figure PL-11 Visibilités restreintes en courbes saillantes et rentrantes



Combinaison de caractéristiques

En ce qui concerne la visibilité en pente, les problèmes suivants sont fréquents et doivent être détectés :

- une combinaison de tracé en plan et de profil en long causant une restriction de visibilité sévère;
- une source de conflits de circulation dans une zone de visibilité restreinte (p. ex. courbe verticale saillante).



Combinaison de pente descendante et de courbe horizontale raide avec visibilité restreinte.



Dû à la présence de la courbe verticale, les conducteurs peuvent être surpris par la présence de l'intersection et de la courbe horizontale.

¹ $K = 100 \times R$ (rayon de courbure verticale)

Comment détecter les problèmes (visibilité aux courbes verticales)

Accidents :

- collisions arrière, accidents impliquant un seul véhicule.

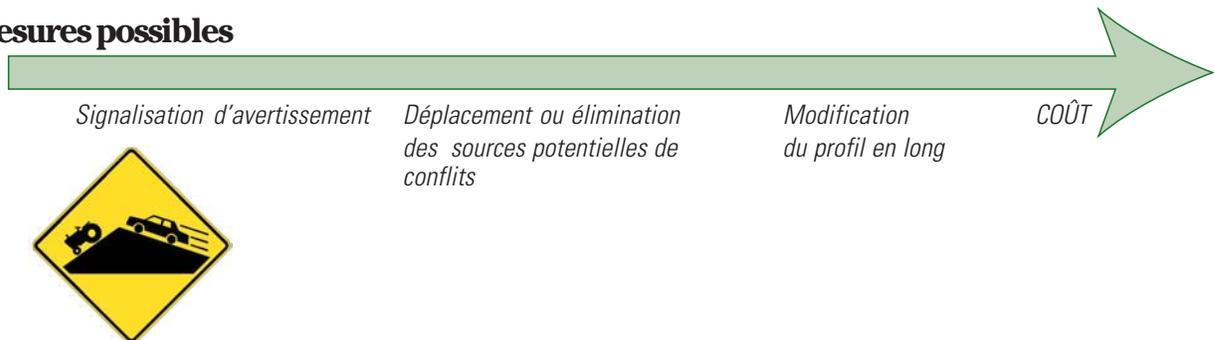
Circulation :

- conflits de circulation.

Caractéristiques de la route :

- comparer la distance de visibilité disponible et la distance de visibilité d'arrêt;
[DISTANCE DE FREINAGE (TANGENTE) ]
- vérifier les possibilités de conflits de circulation aux courbes saillantes où la visibilité est restreinte (intersection, passage à niveau, entrée privée, fin de voie pour véhicules lents), traces de freinage.

Mesures possibles

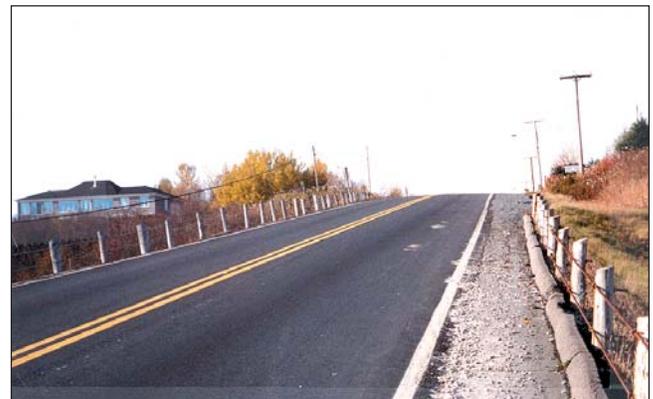


DÉPASSEMENT

Description

Le marquage interdisant le dépassement doit être clairement visible sur la chaussée lorsque la distance de visibilité disponible rend ces manœuvres hasardeuses. Il faut éviter les situations où la distance de visibilité disponible est moindre que celle requise pour le dépassement, mais suffisante pour inciter certains conducteurs à prendre des risques.

Les occasions de dépassement doivent être évaluées non seulement aux courbes saillantes, mais aussi de part et d'autre de ces courbes (voir : **Tracé en plan – dépassements**).



Marquage interdisant le dépassement à une courbe verticale saillante.

Sécurité

Selon une étude allemande, 23 % des accidents survenant dans les courbes verticales en milieu rural étaient reliés à des manœuvres de dépassement (Levin, 1995; cité par Lamm et al. 1999).

Comment détecter les problèmes (dépassement)

Accidents :

- collisions frontales ou latérales, sorties de route.

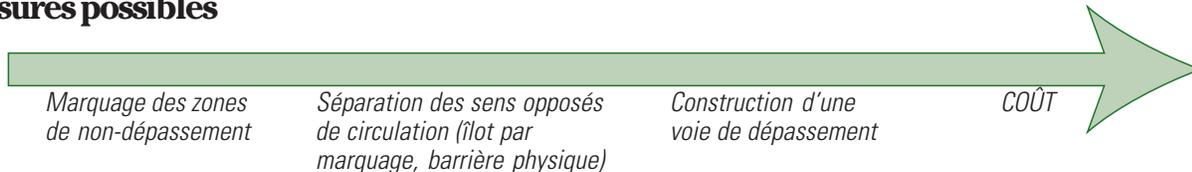
Circulation :

- pelotons, manœuvres de dépassement dangereuses.

Caractéristiques de la route :

- comparer la distance de visibilité disponible et la distance de visibilité de dépassement;
- marquage de la chaussée (interdiction de dépassement aux endroits dangereux);
- occasions de dépassement suffisantes le long de la route.

Mesures possibles



DRAINAGE

Description

Les conditions de drainage doivent permettre un écoulement rapide de l'eau dans les courbes rentrantes, qui constituent des endroits propices aux accumulations d'eau. Une attention particulière doit être apportée à la qualité du drainage lorsque la courbe rentrante se situe dans la zone de transition précédant une courbe horizontale (*Tracé en plan – dévers*).

Voir aussi *Pentes descendantes – drainage*



Accotement large et revêtu avec structure de drainage en pente

Comment détecter les problèmes

Accidents :

- accidents sur chaussée humide.

Caractéristiques de la route :

- accumulation d'eau ou de débris, érosion;
- structures de drainage dangereuses (structures ouvertes et profondes près des voies de circulation).

Mesures possibles

- augmenter le bombement de la route;
- améliorer les structures de drainage (augmenter leur capacité, réduire les risques).

RÉFÉRENCES

- American Association of State Highway and Transportation Officials (1994)** *A Policy on geometric design of highways and streets*, Washington, DC. Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.
- Allen, R.W., Harwood, D., Chrstos, J.P. et Glauz, W.D. (2000)** *The capability and enhancement of VDANL and TWOPAS for analysing vehicle performance on upgrade and downgrade within IHSDM*, FHWA-RD-00-078, Federal Highway Administration, 137 p. (<http://www.tfhrc.gov/safety/00-078.pdf>).
- Association des transports du Canada (1998)** *Manuel canadien de la signalisation routière*. 4^e édition. Comité national de la signalisation routière, Ottawa, Canada.
- Baass (1993)** *Précis sur la signalisation routière au Québec*, Québec, Canada: Association québécoise du transport et des routes
- Harwood, D.W., Council, F.M., Hauer, E., Hughes, W.E. et Vogt, A. (2000)** *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*, FHWA-RD-99-207, Federal Highway Administration (<http://www.tfhrc.gov/safety/pubs/99207/>).
- Hauer, E. and Persaud, B. (1996)** *Safety analysis of roadway geometric and ancillary features*, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada.
- Lamm, R., Mailaender T. et Psarianos B. (1999)** *Highway design and traffic safety engineering handbook*, McGraw-Hill.
- Levin, C. (1995)** *New ways for crest vertical curve design*, Commemorative volume to the 60th birthday of Univ.-Prof. Dr.-Ing. Walter Durtg, Technical University of Darmstadt, Germany.
- Krammes, R.A. et Garnham, M.A. (1995)** *Worldwide review of alignment design policies, Proceedings – International symposium on highway geometric design practices*, Boston, Massachusetts (<http://gulliver.trb.org/publications/circulars/ec003/toc.pdf>).
- Ministère des Transports du Québec (1999)** *Traffic control devices. Normes ouvrages routiers, Volume V*, Les publications du Québec, Québec, Canada.
- Myers, T.T., AshKenas, I.L. et Johnson, W.A. (1980)** *Feasibility of a grade severity rating system*, FHWA-RD-79-116, Federal Highway Administration.
- Olson, P.L., Cleveland, D.E., Fancher, P.S., Koystyniuk, L.P. et Schneider, L.W. (1984)** *Parameters affecting stopping sight distance*. NCHRP Report 270, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Rouchon, G. (1997)** *Descentes de forte pente et de grande longueur sur les routes de type autoroute*, Note d'information 52, Centre de la sécurité et des techniques routières, France.
- Transportation Association of Canada (1998)** *Manual of uniform traffic control devices for Canada*, Ottawa, Canada.
- Transportation Association of Canada (1999)** *Geometric design guide for Canadian roads*, Ottawa, Canada.
- Transportation Research Board (1987)** *Designing safer roads, Practices for resurfacing, restoration, and rehabilitation*, Special Report 214, Washington, DC., 319 p. (http://trb.org/publications/sr/sr214/sr214_001_fm.pdf).

ANNEXES PROFIL EN LONG

ANNEXE PL-1 PARAMÈTRES DE CONCEPTION DU PROFIL EN LONG

Tableau PL-A1 Pentes maximales – Routes en milieu rural

PAYS	VITESSE DE CONCEPTION (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
AFRIQUE DU SUD									
plat	-	-	-	5	4	3,5	3	3	3
vallonné	-	7	6	5,5	5	4,5	4	-	-
montagneux	10	9	8	7	6	-	-	-	-
ALLEMAGNE	-	-	8	7	6	5	4,5	-	4
AUSTRALIE									
plat	-	-	6-8	-	4-6	-	3-5	-	3-5
vallonné	-	-	7-9	-	5-7	-	4-6	-	4-6
montagneux	-	-	9-10	-	7-9	-	6-8	-	-
CANADA	7	7	6-7	6	4-6	4-5	3-5	3	3
routes secondaires	11	11	10-11	9	7-8	6-7	5-7	5-6	5
ÉTATS-UNIS									
plat	-	-	5	5	4	4	3	3	3
vallonné	-	-	6	6	5	5	4	4	4
montagneux	-	-	8	7	7	6	6	5	5
FRANCE	-	-	7	-	6	-	5	-	-
GRÈCE	-	11	10	9	8	7	5	4,5	4
ITALIE	10	10	7	7	6	5	5	5	5
routes secondaires	12	-	10	-	7	6	6	-	-
JAPON	7	6	5	-	4	-	3	-	2
SUISSE	12	-	10	-	8	-	6	-	4

Source: Lamm et al. dans Highway design and traffic safety engineering handbook. Copyright 1999, McGraw-Hill Companies, Inc.

Tableau PL-A2 Valeurs minimales de K – Courbes saillantes

PAYS	VITESSE DE CONCEPTION (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
AFRIQUE DU SUD	6	11	16	23	50	46	60	81	100
ALLEMAGNE	-	-	27	35	44	70	100	-	200
AUSTRALIE	-	5	9	16	24	42	63	95	135
CANADA	4	7	15	22	35	55	70	85	105
ÉTATS-UNIS	5	10	18	31	49	71	105	151	202
FRANCE	-	-	15	-	30	-	60	-	100
GRÈCE	-	15	20	27	43	54	75	110	150
ITALIE	5	-	10	-	30	-	70	-	140
JAPON	-	8	14	-	30	-	65	-	110
SUISSE	15	21	30	42	60	85	125	200	-

Source: extraits de Krammes and Garnham, 1995

Tableau PL-A3 Valeurs minimales de K – Courbes rentrantes

PAYS	VITESSE DE CONCEPTION (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
AFRIQUE DU SUD	8	12	16	20	25	31	36	43	52
ALLEMAGNE	-	-	15	10	25	35	50	-	100
CANADA	7	11	20	25	30	40	50	55	60
ÉTATS-UNIS	8	12	18	25	32	40	51	62	73
FRANCE	-	-	15	-	22	-	30	-	42
GRÈCE	-	14	19	25	33	42	52	63	75
ITALIE	6	-	12	-	22	-	39	-	58
JAPON	-	7	10	-	20	-	30	-	40
SUISSE	8	12	16	25	35	45	60	80	-

Source: extraits de Krammes and Garnham, 1995

ANNEXE PL-2 TEMPÉRATURE DES FREINS DANS LES DESCENTES

L'énergie totale d'un véhicule arrivant au sommet d'une pente est égale à la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle.

L'énergie cinétique est fonction de la masse (m) du véhicule de sa vitesse (v) tandis que l'énergie potentielle est fonction du dénivelé de la pente (y) et de la masse du véhicule (eq. PL-4 et PL-5).

$$E_{\text{cin}} = \frac{m \times v^2}{2} \quad [\text{Eq. PL-4}]$$

où:

E_{cin} = énergie cinétique (J)

m = masse du véhicule (kg)

v = vitesse du véhicule (m/s)

$$E_{\text{pot}} = m \times g \times y \quad [\text{Eq. PL-5}]$$

où:

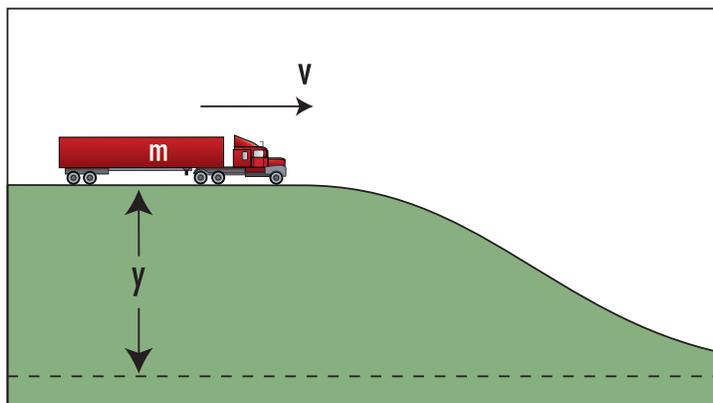
E_{pot} = énergie potentielle (J)

m = masse du véhicule (kg)

g = 9,8 m/s²

y = dénivelé de la pente (m)

Figure PL-A1 Véhicule en pente descendante



D'après la loi de conservation de l'énergie, cette énergie potentielle doit être dissipée en cours de descente par une combinaison de résistances (roulement, mécanique, air, moteur et freinage)².

Les systèmes de freinage permettent donc de transformer une partie de cette énergie en chaleur, par application d'une force de frottement entre deux corps métalliques. Une application intense ou prolongée des freins peut cependant entraîner leur échauffement. Ce risque est particulièrement élevé pour les véhicules lourds, dont la masse plus importante augmente considérablement la quantité d'énergie devant être transformée en chaleur (comparativement aux véhicules particuliers).

Plusieurs modèles mathématiques ont été développés pour évaluer les profils de température des freins des véhicules lourds en descente. L'utilitaire de calcul « analyse des pentes » qui est inclus à ce manuel utilise le modèle développé par Myers et al. (1980).

[ANALYSE DES PENTES ]

² Si le véhicule accélère dans la descente, une partie de l'énergie potentielle est transférée en énergie cinétique.

Ce modèle utilise l'équation suivante (système anglais) :

$$T(t) = (T_i \times e^{-k1 \times t}) + T_a \times (1 - e^{-k1 \times t}) + k2 \times P_B \times (1 - e^{-k1 \times t}) \quad [\text{Eq. PL-6}]$$

où:

T_i = température initiale des freins (valeur par défaut suggérée: 150 °F)

T_a = température ambiante (valeur par défaut suggérée : 90°F)

$k1$ = $1,23 + 0,0256 * V$

$k2$ = $0,1 + 0,00208 * V$

P_B = puissance de freinage (hp)

et:

$P_B = P_G - P_E - P_F$

P_G = puissance due à la pente (hp)

P_E = puissance de compression du moteur (hp), (valeur par défaut, sans ralentisseur : 73 hp)

P_F = puissance de frottement (hp)

$$P_G = \frac{W \times G \times V}{375} \quad P_F = \frac{(450 + 17,25 \times V) \times V}{375}$$

où:

W = poids du véhicule (lbs)

G = pourcentage de pente (%)

V = vitesse (mph)

D'après ce modèle, la surchauffe des freins est donc fonction de :

- la pente (pourcentage et longueur);
- la vitesse de descente;
- la compression du moteur (et du ralentisseur);
- la masse du véhicule.

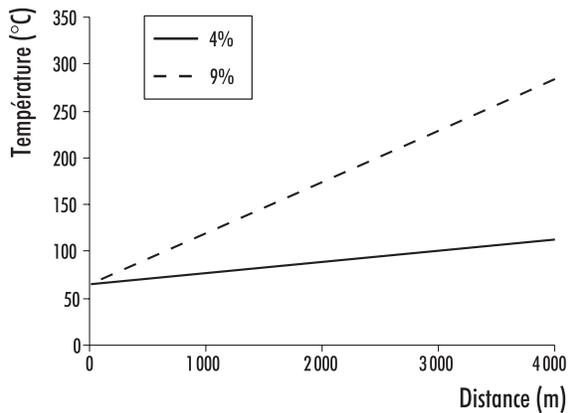
Il faut aussi prendre en compte :

- la température initiale des freins (qui est fonction des caractéristiques de la route en amont de la descente);
- l'état du système de freinage du véhicule;
- les caractéristiques des véhicules lourds circulant au site;
- les probabilités d'arrêt d'urgence;
- la stratégie de conduite;
- etc.

La contribution de ces facteurs est décrite ci-dessous.

Figure PL-A2 Facteurs affectant la température des freins

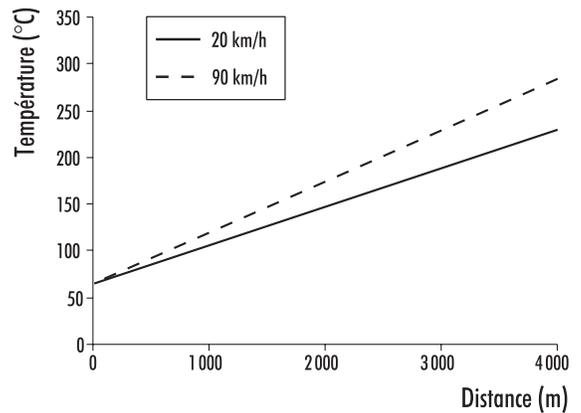
DÉNIVELÉ



Compression moteur : 54 kW, masse : 36 287 kg, vitesse : 50 km/h

Le pourcentage et la longueur de pente, qui déterminent le dénivelé, ont un effet important sur l'échauffement des freins. En France, un dénivelé de 130 m est utilisé comme indicateur de risque sur les autoroutes (Service d'études techniques des routes et autoroutes, 1997). Un dénivelé de 200 m peut être suffisant pour élever la température à un niveau critique.

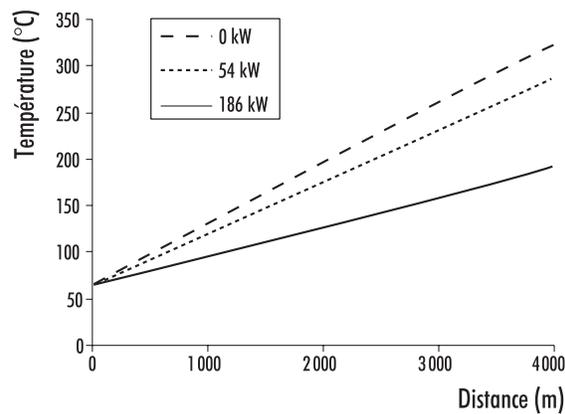
VITESSE



Pente : 9 %, compression moteur : 54 kW, masse : 36 287 kg

La température des freins augmente à un taux plus rapide à mesure que la vitesse augmente.

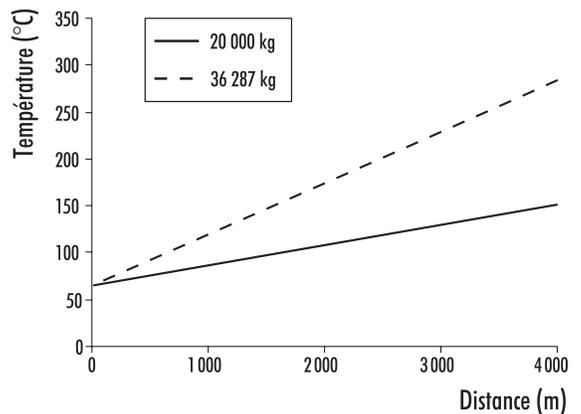
COMPRESSION MOTEUR



Pente : 9 %, vitesse : 50 km/h, masse : 36 287 kg

La compression moteur contribue à ralentir la descente du véhicule. Sans ralentisseur, elle peut atteindre jusqu'à 30 % de la puissance nominale du moteur tandis qu'avec un ralentisseur, elle peut atteindre sa pleine puissance nominale.

MASSE DU VÉHICULE



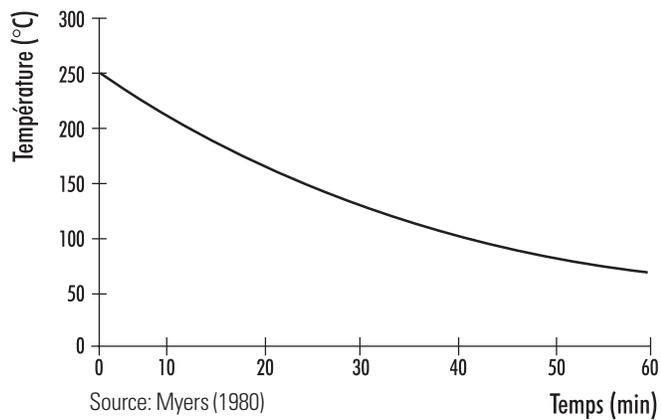
Pente : 9 %, vitesse : 50 km/h, compression moteur : 54 kW

Le taux d'augmentation de la température des freins est d'autant plus important que la masse du véhicule est élevée.

Autres facteurs influençant le taux d'accroissement de la température des freins :

TEMPÉRATURE INITIALE DES FREINS

Figure PL-A3 Temps de refroidissement des freins



Comme les freins refroidissent lentement, il est nécessaire d'évaluer leur température initiale en début de descente, en tenant compte des caractéristiques d'un tronçon de route relativement long situé en amont (vérifier la présence de descentes, de courbes raides, d'arrêts obligatoires, etc.).

ÉTAT MÉCANIQUE DU VÉHICULE

- des défauts du système de freinage peuvent augmenter le taux d'échauffement des freins, de façon significative.

CARACTÉRISTIQUES DU TRAFIC LOURD

- nombre de véhicules lourds
- type de marchandises transportées (minerai, bois de sciage, etc.)

STRATÉGIE DE CONDUITE

- vitesse initiale en début de descente
- vitesse de descente
- stratégie de freinage

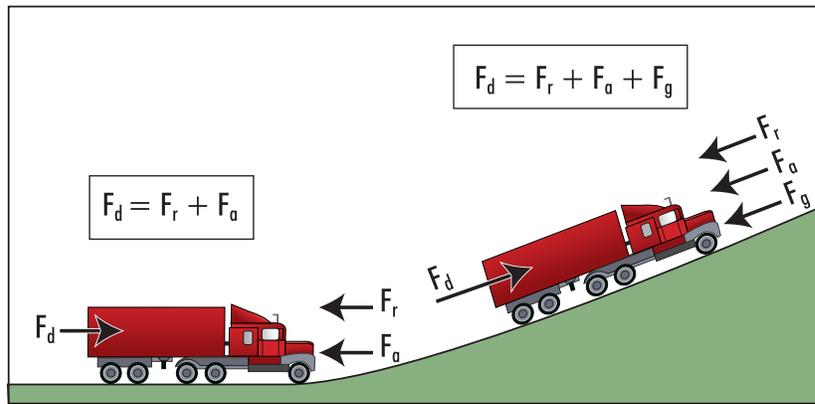
PROBABILITÉ DE RÉDUCTION DE VITESSE OU D'ARRÊT

- arrêt obligatoire
- intersection ou autre traverse (à niveau, piéton, etc.)
- courbe raide

ANNEXE PL-3 VITESSE DES VÉHICULES LOURDS DANS LES MONTÉES

Pour maintenir une vitesse constante, le moteur d'un véhicule doit être en mesure de fournir une force de traction égale à la résistance au roulement et à la résistance de l'air. À ces facteurs vient s'ajouter, en pente ascendante, une résistance attribuable à la force de gravité.

Figure PL-A4 Système de forces – Véhicule en pente ascendante



où:

- F_d = force de traction du moteur (N)
- F_r = résistance au roulement (N)
- F_a = résistance de l'air (N)
- F_g = résistance de la pente (N)

Si la force de traction du moteur est inférieure à la somme de ces résistances, le véhicule ralentit.

Plusieurs modèles ont été développés pour estimer la vitesse des véhicules en pente ascendante. L'utilitaire de calcul « *Analyse des pentes* » utilise le modèle semi-empirique de Allen et al. (2000). Le taux d'accélération ou décélération du véhicule est estimé en fonction de sa vitesse, de sa puissance, de son aire frontale et du pourcentage de pente.

Le profil de vitesse d'un véhicule est calculé par courts intervalles de distance, selon l'algorithme suivant :

1. choisir l'intervalle de distance (d) (la valeur par défaut de l'utilitaire de calcul est de 3,28 pi ou 1 m);
2. choisir la vitesse initiale du véhicule en début de montée (v_i);
3. calculer a_c (accélération en roue libre), a_p (accélération limitée par la puissance) et a_e (accélération effective) selon les équations ci-dessous :

$$a_c = -0,2445 - 0,0004v_i - \frac{0,021C_{de}v_i^2}{(W/A)} - \frac{222,6C_{pe}}{(W/NHP)v_i} - g \times \frac{G}{100} \quad [\text{Eq. PL-7}]$$

où:

- a_c = accélération en roue libre (pi/s²)
- v_i = vitesse initiale du véhicule (pi/s)
- C_{de} = facteur de correction d'altitude pour convertir la résistance de l'air au niveau de la mer à celle de l'élévation locale E (pi)
- $C_{de} = (1 - 0,00000688 E)^{4,255}$
- W = poids du véhicule (lb)
- A_f = aire frontale du véhicule (pi²)
- C_{pe} = facteur de correction d'altitude pour convertir la puissance nette d'un moteur à essence au niveau de la mer à celle de l'élévation locale E (m)
- $C_{pe} = 1 - 0,00004 E$
- NHP = puissance nominale nette au niveau de la mer (hp)
- g = accélération due à la gravité (32,2 pi/s²)
- G = pourcentage de pente (%)

$$a_p = \left[a_c + \frac{15\,368C_{pe}}{(W/NHP)v_i} \right] / \left[1 + \frac{14\,080}{(W/NHP)v_i^2} \right] \quad [\text{Eq. PL-8}]$$

où:
 a_p = accélération limitée par la puissance (pi/s²)

$$a_e = \left[\frac{0,4v_i}{0,4v_i + 1,5S_p(a_p - a_c)} \right] \times a_p \quad [\text{Eq. PL-9}]$$

où:
 S_p = +1 ou -1, selon le signe de a_p

4. Calculer la vitesse du véhicule à la fin de l'intervalle (v_f) selon l'équation suivante :

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2a_e d}$$

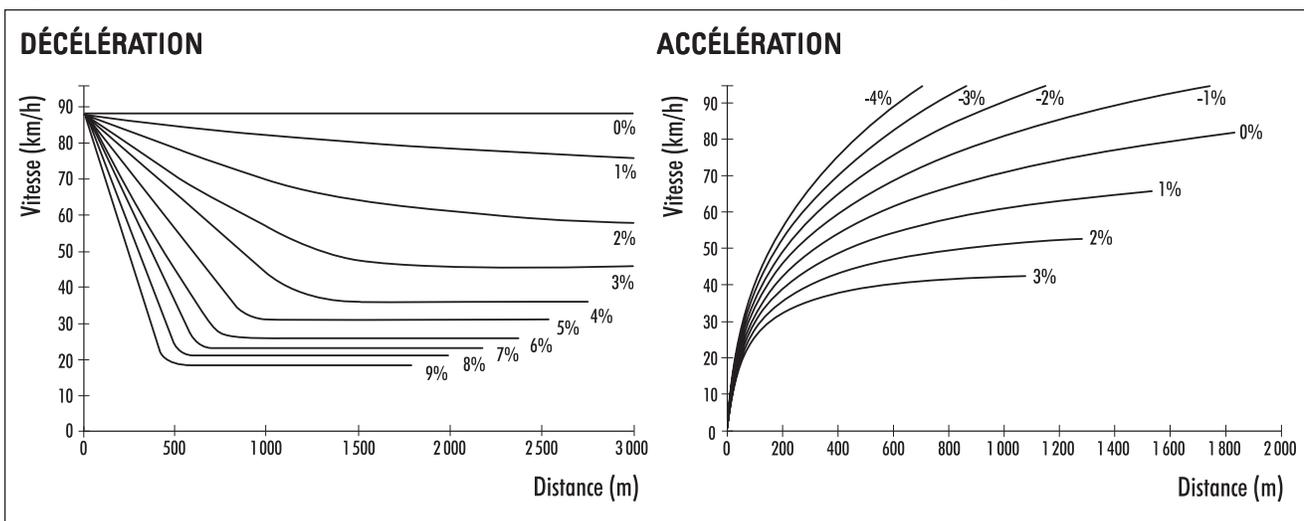
où:
 d = intervalle de distance (pi)

5. La vitesse finale devient la vitesse initiale de l'intervalle suivant et les étapes 2 à 5 sont répétées jusqu'à la fin de la pente.

(Si $v_i < 10$ pi/s, le terme $0,4 v_i = 10$)

Cet algorithme permet d'obtenir des courbes de décélération et d'accélération des véhicules lourds en pente similaires à celles de la figure PL-A5.

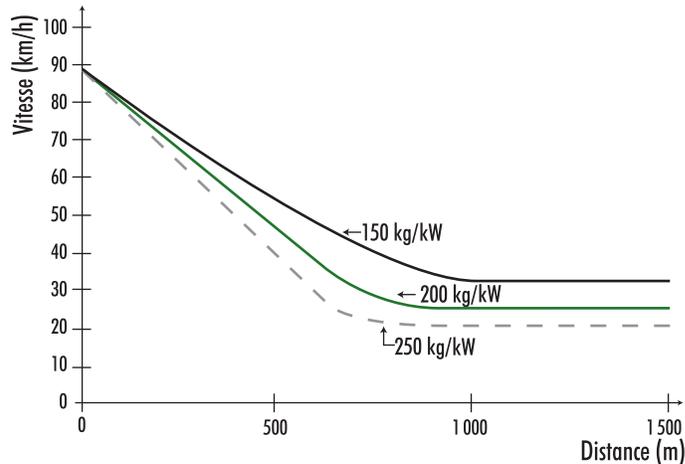
Figure PL-A5 Courbes de décélération et d'accélération (camion de 180 kg/kW)



Ratio masse/puissance (M/P)

Le ratio masse/puissance (M/P) est souvent utilisé pour caractériser les capacités d'accélération et de décélération des véhicules lourds en pente puisqu'il existe une bonne corrélation entre la masse d'un véhicule et les forces de résistance qui agissent sur lui. La vitesse maximale pouvant être soutenue en pente ascendante diminue à mesure que le ratio M/P augmente.

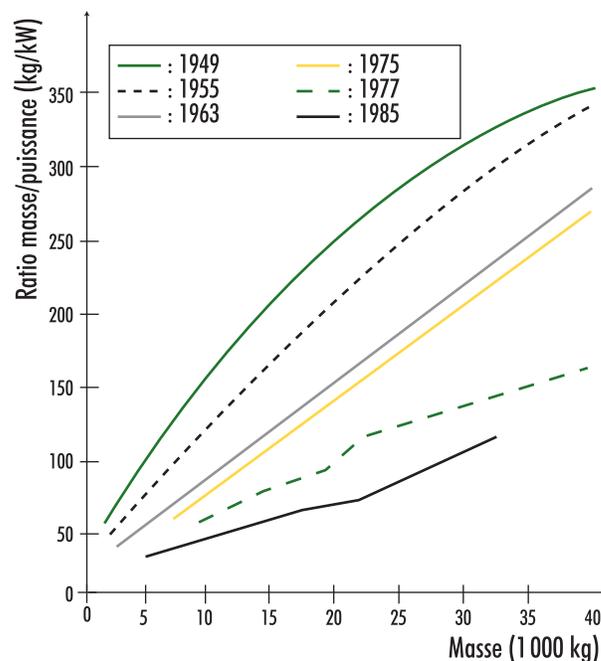
Figure PL-A6 Courbes de décélération selon le ratio masse/puissance



En Amérique du Nord, on utilise un ratio masse/puissance de 180 kg/kW tandis qu'en Europe, on utilise plutôt le ratio puissance/masse (dans bien des pays, on utilise une valeur de 7,5 à 8,0 hp/tonne, ce qui est équivalent à 180 kg/kW).

Il convient de noter que les performances des véhicules lourds se sont passablement améliorées depuis les années 1950. En conséquence, l'âge moyen du parc de véhicules lourds du pays devrait aussi être pris en compte dans les calculs visant à estimer les taux de décélération en montée.

Figure PL-A7 Évolution du ratio masse/puissance



Source: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1994

ANNEXE PL-4 VISIBILITÉ DANS LES COURBES VERTICALES

Les longueurs minimales requises pour les courbes verticales (L), peuvent être déterminées à l'aide d'équations mathématiques. On distingue 3 cas :

- courbe verticale saillante;
- courbe verticale rentrante (éclairage des phares);
- courbe verticale rentrante (structure surplombant la chaussée).

Les équations diffèrent si la distance de visibilité est inférieure ou supérieure à la longueur de la courbe.

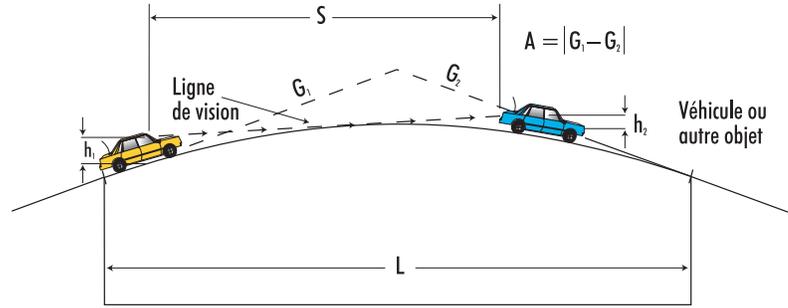
Courbe verticale saillante

Pour $S < L$

$$L = \frac{A \times S^2}{200 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Pour $S > L$

$$L = 2S - \frac{200 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$



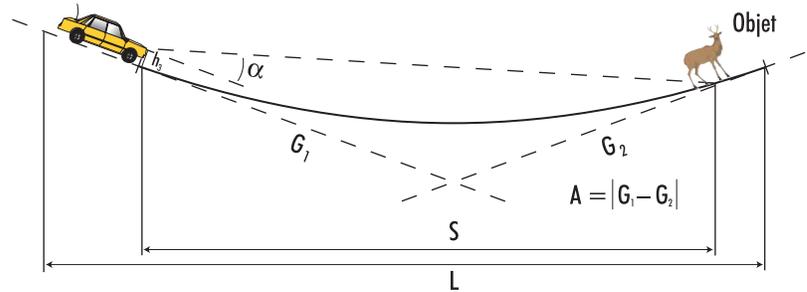
Courbe verticale rentrante (éclairage des phares)

Pour $S < L$

$$L = \frac{A \times S^2}{200 (h_3 + S \tan \alpha)}$$

Pour $S > L$

$$L = 2S - \frac{200 (h_3 + S \tan \alpha)}{A}$$



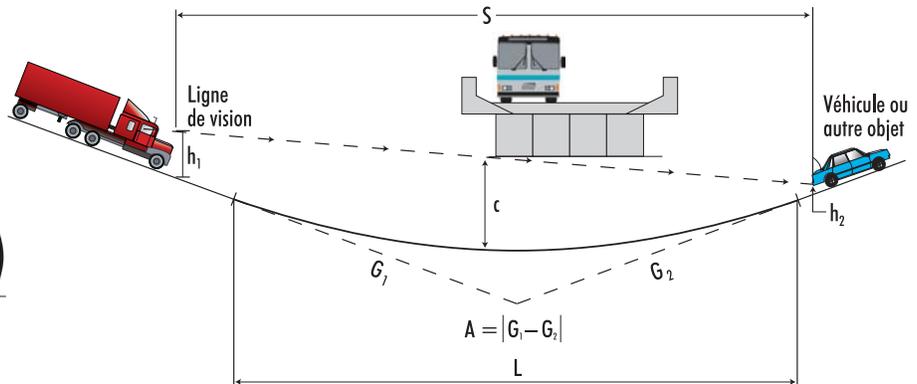
Courbe verticale rentrante (structure surplombant la chaussée)

Pour $S < L$

$$L = \frac{A \times S^2}{800 \left(c - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}$$

Pour $S > L$

$$L = 2S - \frac{800 \left(c - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}{A}$$



L = longueur de la courbe verticale (m)

S = distance de visibilité (m)

h3 = hauteur des phares (m)

h2 = hauteur de l'objet considéré (m)

h1 = hauteur des yeux du conducteur (m)

α = angle du faisceau des phares par rapport au plan du véhicule

A = différence algébrique des pentes (pourcentage)

c = dégagement entre la route et la structure surplombant la chaussée (m)

G_1, G_2 = pourcentage des pentes (%)

DISTANCE DE VISIBILITÉ

Fiche technique

Patrick Barber et Carl Bélanger

DISTANCE DE VISIBILITÉ

Fiche technique

	Page
DISTANCE DE VISIBILITÉ	388
→ Sommaire	388
→ Intersections	391
Distance de visibilité d'arrêt	391
Distance de visibilité de manœuvre	392
Triangle de visibilité	394
Distance de visibilité d'anticipation	395
→ Sections	396
Distance de visibilité d'arrêt ou d'anticipation	396
Distance de visibilité de dépassement	396
Distance de visibilité de rencontre	397
RÉFÉRENCES	398

LISTE DES FIGURES

Figure DV-1	Relation entre le taux d'accidents et la distance de visibilité	389
Figure DV-2	Distance de visibilité d'arrêt	391
Figure DV-3	Exemples – Distances de visibilité d'arrêt obtenues avec l'équation DV-1	392
Figure DV-4	Ensemble des distances de visibilité de manoeuvre en intersection	393
Figure DV-5	Triangles de visibilité	394
Figure DV-6	Manoeuvre de dépassement	396
Figure DV-7	Distance de visibilité de rencontre	397

LISTE DES TABLEAUX

Tableau DV-1	Critères de visibilité en intersection	388
Tableau DV-2	Critères de visibilité en section	388
Tableau DV-3	Types d'accidents pouvant indiquer des problèmes de visibilité	389
Tableau DV-4	Valeurs typiques pour le calcul des distances de visibilité d'arrêt	391
Tableau DV-5	Distances de visibilité d'arrêt	392
Tableau DV-6	Créneau nécessaire – Manoeuvre à une intersection (véhicules passagers)	393
Tableau DV-7	Distance de visibilité de manoeuvre requise (virage à gauche de la secondaire)	393
Tableau DV-8	Triangle de visibilité – Intersections sans contrôle	395
Tableau DV-9	Triangle de visibilité – Carrefours giratoires	395
Tableau DV-10	Comparaison – Distances de visibilité d'arrêt et d'anticipation	395
Tableau DV-11	Distances de visibilité de dépassement recommandées	397

SOMMAIRE

Principes généraux

En tout point de la route, la distance de visibilité disponible doit permettre à un conducteur qui circule à une vitesse raisonnable (V_{85}), d'immobiliser son véhicule de façon sécuritaire avant d'atteindre un objet stationnaire situé sur sa voie (**distance de visibilité d'arrêt**).

En intersection, différents autres critères de visibilité doivent aussi être satisfaits pour assurer la sécurité des usagers. Ces critères varient selon le type d'intersection et les règles de priorités de passage.

Tableau DV-1 Critères de visibilité en intersection

TYPE D'INTERSECTION ET PRIORITÉS DE PASSAGE	CRITÈRE DE VISIBILITÉ			
	ARRÊT	MANOEUVRE	TRIANGLE	ANTICIPATION
		Traverse à partir de la secondaire Virage à partir de la secondaire Virage à partir de la principale		
Intersection conventionnelle				Situations complexes ou inattendues
Aucune signalisation	X	X	X	
Cédez	X	X	X	
Arrêts sur secondaire	X	X		
Arrêts toutes directions	X			
Feux	X	X		
Carrefour giratoire	X		X	

En section, il faut dans certaines circonstances vérifier si les distances de visibilité de dépassement, d'anticipation ou de rencontre sont satisfaisantes.

Tableau DV-2 Critères de visibilité en section

CRITÈRE	CIRCONSTANCES
Distance de visibilité d'arrêt	en tout point du réseau
Distance de visibilité de dépassement	endroits où le dépassement par la voie opposée est permis
Distance de visibilité d'anticipation	situations complexes ou inattendues
Distance de visibilité de rencontre	routes étroites (circulation permise dans les deux sens mais largeur de chaussée insuffisante pour croisements sécuritaires)

Observations

Lors d'une étude de sécurité, l'analyste doit déterminer les **distances de visibilité disponibles** au site et les comparer aux **distances de visibilité requises**.

Les **distances de visibilité disponibles** sont mesurées lors de la visite de terrain¹. Ces distances peuvent varier de façon significative selon les hypothèses posées quant à la hauteur des yeux du conducteur et celle de l'objet devant être aperçu. L'étude technique - **Distance de visibilité** décrit comment mesurer les distances de visibilité disponibles et indique aussi les hauteurs des yeux et des objets, telles que recommandées dans plusieurs pays.

¹ À l'étape de la conception, les distances de visibilité disponibles peuvent être calculées à l'aide de méthodes graphiques ou mathématiques. Cependant, pour les routes existantes, les mesures de terrain sont recommandées car elles peuvent révéler des obstructions de visibilité qui ne sont pas visibles sur plan.

Les **distances de visibilité requises** sont déterminées à l'aide d'équations mathématiques qui tiennent compte de la vitesse des véhicules et de plusieurs autres facteurs dont le choix varie selon le critère considéré (temps de réaction des conducteurs, coefficient de frottement disponible, capacités d'accélération et décélération des véhicules, etc.). Cette fiche technique décrit les principes sous-jacents à la détermination des distances de visibilité requises, pour les différents critères énumérés aux tableaux *DV-1* et *DV-2*.

Mise en garde

- Cette fiche technique présente deux équations permettant de calculer les distances de visibilité d'arrêt. Un utilitaire de calcul a été développé pour en faciliter l'usage. Il importe cependant de reconnaître que les distances obtenues avec cet utilitaire de calcul peuvent différer des valeurs recommandées dans les normes de conception d'un pays. Les valeurs de ces normes nationales ont préséance, surtout si les distances correspondantes sont plus élevées;

[DISTANCE DE FREINAGE (TANGENTE) ]

- il en est de même pour les distances de manœuvre : une équation simple est proposée dans cette fiche mais les méthodes de calcul utilisées dans un pays peuvent différer et les normes nationales doivent être appliquées;
- pour les autres critères de visibilité énumérés aux tableaux *DV-1* et *DV-2*, seuls les principes généraux sont décrits dans cette fiche.

Accidents

Le risque d'accident augmente à mesure que la distance de visibilité diminue. L'accroissement du risque est aussi fonction de :

- l'importance de la circulation;
- la possibilité de conflit de circulation dans la zone de visibilité restreinte (intersection, accès, etc.).

Certains types d'accidents peuvent être indicateurs de problèmes de visibilité.

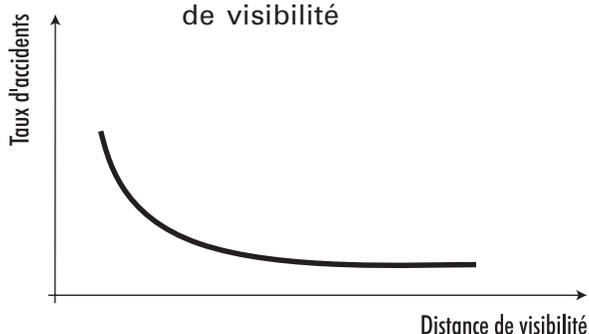
Tableau DV-3 Types d'accidents pouvant indiquer des problèmes de visibilité

TYPE DE SITE	TYPES D'ACCIDENTS
Intersection	Angle droit, collision arrière, direction opposée avec virage
Section	Sortie de route, collision frontale, collision arrière et collision à angle

La relation entre taux d'accidents et visibilité n'est pas linéaire puisque le taux augmente de façon importante à partir d'une certaine valeur critique (Fambro et al., 1997).

- sur les routes rurales, la distance de visibilité critique serait de l'ordre de 90 m à 100 m;
- la fréquence d'accidents reliée à une manœuvre de dépassement augmente lorsque la distance de visibilité est de moins de 400 m à 600 m (Lamm et al., 1999);
- en intersection, le taux d'accidents augmente lorsque la visibilité est limitée sur une ou plusieurs approches, surtout pour les accidents à angle qui surviennent aux intersections rurales sans contrôle.

Figure DV-1 Relation entre le taux d'accidents et la distance de visibilité



Certains problèmes de circulation ou comportements hasardeux, peuvent être attribuables à des lacunes de visibilité : conflits de circulation, freinages tardifs, manœuvres de dépassement hasardeuses, etc. Les observations au site permettront de vérifier ces situations.

Solutions possibles

En section, les améliorations définitives aux problèmes de visibilité impliquent généralement des modifications au tracé en plan ou au profil en long. Lorsque ces interventions s'avèrent d'un coût prohibitif, des mesures d'atténuation doivent être considérées; les actions possibles sont :

- amélioration des mesures d'avertissement (signalisation et autres);
- amélioration des abords de la route (p. ex. dégagement latéral du côté intérieur des courbes horizontales, enlèvement des objets fixes);
- élimination des possibilités de conflits dans la zone de visibilité restreinte (p. ex. déplacement d'un accès);
- aménagements visant à réduire les vitesses (lorsque compatible avec l'environnement routier).

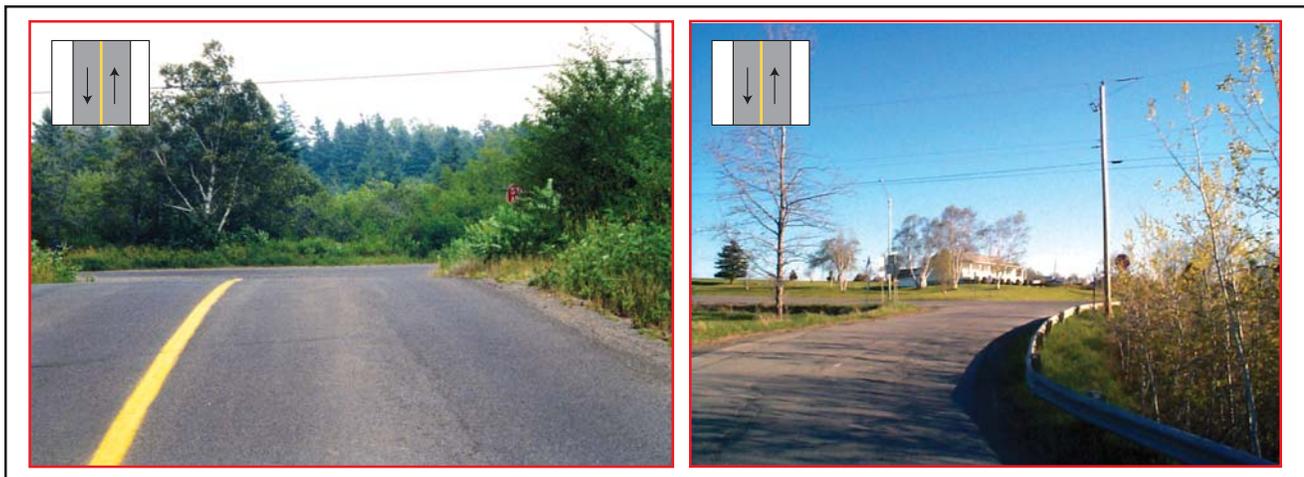
En intersection, les distances de visibilité disponibles doivent permettre aux usagers de compléter de façon sécuritaire chacune des manœuvres qui sont permises mais non prioritaires. Ici encore, des améliorations au tracé en plan ou au profil en long peuvent être requises.

L'élimination des obstacles visuels dans les quadrants de l'intersection peut aussi améliorer la situation : élimination ou déplacement du stationnement en bordure, de panneaux publicitaires, de kiosques commerciaux, de végétation, etc.

La signalisation de l'intersection et tout particulièrement le panneau d'arrêt sur les approches secondaires doivent être facilement détectables.

Lorsqu'il s'avère impossible de corriger le problème de visibilité, des mesures alternatives doivent être considérées :

- amélioration des mesures d'avertissement (signalisation et autres);
- interdiction de manoeuvres;
- choix d'un mode de régulation des priorités de passages plus restrictif (p. ex. feux de circulation);
- aménagements favorisant les réductions de vitesses ou de conflits (p. ex. carrefour giratoire, déviations, canalisation).



Dans ces deux cas, la visibilité du panneau d'arrêt est nettement insuffisante.

INTERSECTIONS

Distance de visibilité d'arrêt

INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES ET CARREFOURS GIRATOIRES

TOUTES LES RÈGLES DE PRIORITÉ DE PASSAGE

TOUTES LES APPROCHES

Comme partout ailleurs sur le réseau, la distance de visibilité à l'approche d'une intersection doit être suffisante pour permettre à un conducteur qui circule à une vitesse raisonnable (V_{85}), d'immobiliser son véhicule de façon sécuritaire avant d'atteindre un objet stationnaire situé sur sa voie.

À une intersection conventionnelle, il faut vérifier la distance de visibilité d'arrêt sur chacune des approches, en amont et en aval de l'intersection. À un carrefour giratoire, il faut vérifier la distance de visibilité d'arrêt sur chacune des approches, dans l'anneau et sur chacune des sorties du carrefour (figure DV-2). Il faut apporter une attention particulière à la visibilité des passages piétons situés aux sorties des giratoires.

La distance de visibilité d'arrêt requise peut se calculer à l'aide de l'une ou l'autre des deux équations suivantes, qui utilisent soit le coefficient de frottement longitudinal ou le taux de décélération des véhicules. Le premier terme de ces équations représente la distance parcourue par un véhicule durant le temps de réaction du conducteur tandis que le second terme représente la distance parcourue lors du freinage mécanique du véhicule. Les valeurs typiques utilisées pour le calcul des distances d'arrêts sont indiquées au tableau DV-4.

$$DVA = \frac{V_i \times t}{3,6} + \frac{V_i^2}{254 (f_l \pm \frac{G}{100})} \quad [\text{Eq. DV-1}]$$

$$DVA = \frac{V_i \times t}{3,6} + \frac{V_i^2}{254 (\frac{a}{g} \pm \frac{G}{100})} \quad [\text{Eq. DV-2}]$$

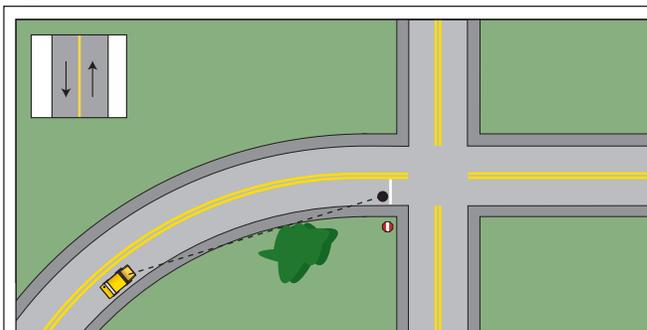
où :

- DVA = distance de visibilité d'arrêt (m)
- t = temps de réaction (s)
- V_i = vitesse initiale (km/h)
- f_l = coefficient de frottement longitudinal
- a = taux de décélération (m/s^2)
- g = accélération due à la gravité ($9,8 \text{ m/s}^2$)
- G = pourcentage de pente (%)

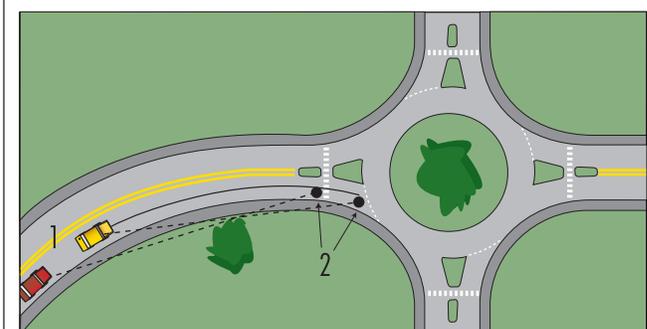
[DISTANCE DE FREINAGE (TANGENTE)]

L'utilitaire de calcul « Distance de freinage » permet de calculer la distance de freinage (c.-à-d. d'une vitesse initiale V_i à une vitesse finale $V_f \neq 0$) ou la distance d'arrêt (lorsque $V_f = 0$).

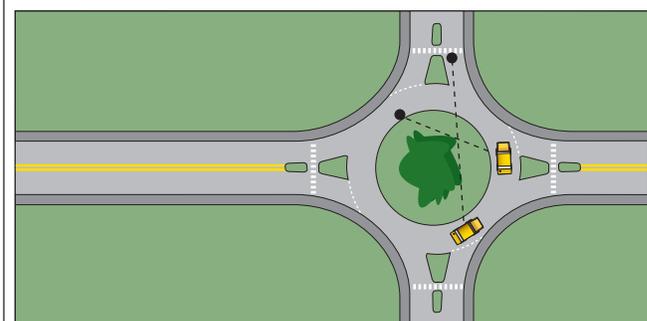
Figure DV-2 Distance de visibilité d'arrêt



à l'approche d'une intersection conventionnelle



à l'approche d'un carrefour giratoire



dans l'anneau et à la sortie d'un carrefour giratoire

Lors de la détermination des distances de visibilité disponibles, les lignes de visée ne peuvent empiéter sur les abords de route que si ceux-ci sont dégagés de façon permanente de tout obstacle visuel. Il faut tenir compte de la présence d'obstructions temporaires ou saisonnières : végétation, kiosques itinérants, neige, etc.) (**distance de visibilité – étude technique**).

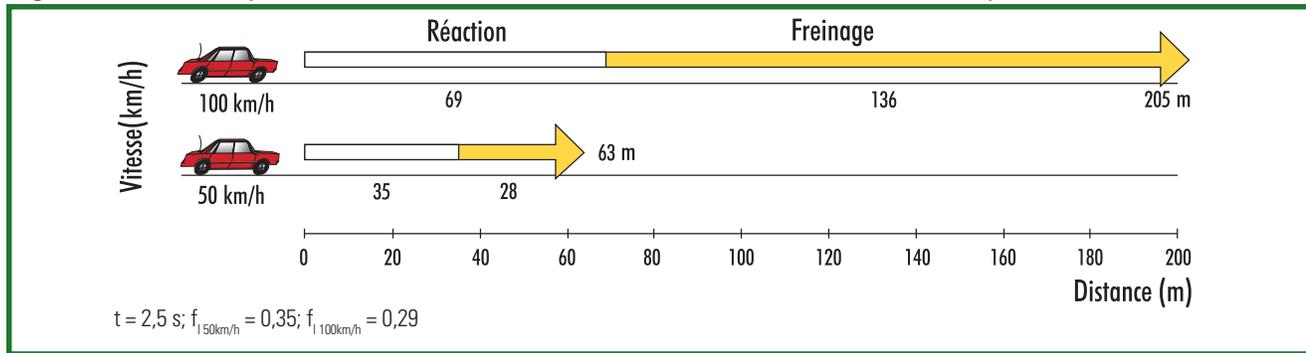
Tableau DV-4 Valeurs typiques pour le calcul des distances de visibilité d'arrêt

PARAMÈTRE	VALEURS TYPIQUES
Temps de réaction (t^a)	1,0 à 2,5 s
Coefficient de frottement longitudinal (f_l^b)	0,15 à 0,5
Taux de décélération (a)	3,4 m/s^2

^a varie selon le type de milieu (urbain ou rural).

^b varie selon la vitesse.

Figure DV-3 Exemples – Distances de visibilité d’arrêt obtenues avec l’équation DV-1.



Le tableau DV-5 présente les distances de visibilité d’arrêt recommandées dans plusieurs pays.

Tableau DV-5 Distances de visibilité d’arrêt

PAYS	TEMPS (s)	VITESSE (km/h)											
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
DISTANCE DE VISIBILITÉ D'ARRÊT(m)													
Afrique du Sud	2,5	-	50	65	80	95	115	135	155	180	210	-	-
Allemagne	2,0	-	-	-	65	85	110	140	170	210	255	-	-
Autriche	2,0	-	35	50	70	90	120	-	185	-	275	-	380
Canada	2,5	-	45	65	85	110	140	170	210	250	290	330	-
États-Unis	2,5	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250	285	-
France	2,0	25	35	50	65	85	105	130	160	-	-	-	-
Grande-Bretagne	2,0	-	-	70	90	120	-	-	215	-	295	-	-
Grèce	2,0	-	-	-	65	85	110	140	170	205	245	-	-
Suède	2,0	35	-	70	-	165	-	-	-	195	-	-	-
Suisse	2,0	35	-	50	70	95	120	150	195	230	280	-	-

Adapté de : Harwood et al., 1995

Distance de visibilité de manœuvre

INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES

MANOEUVRES NON PRIORITAIRES

Un conducteur immobilisé à une intersection doit disposer d’une visibilité suffisante pour compléter en sécurité les manœuvres qui sont permises mais non prioritaires (*figure DV-4*).

- virage à gauche, traversée et virage à droite a partir d’une route secondaire;
- virage à gauche a partir d’une route principale.

Différentes méthodes, de complexité fort variable, ont été développées pour calculer les distances de visibilité de manœuvre requises. Une équation simple calcule cette distance à partir de la vitesse des véhicules ayant priorité de passage et des créneaux nécessaires pour compléter les manœuvres non prioritaires. Le temps de créneau utilisé varie selon le pays, tel qu’illustré au *tableau DV-6*.

$$D = \frac{V_{85} \times t}{3,6} \quad [\text{Eq. DV-3}]$$

où :

- D = distance de visibilité de manœuvre (m)
- V_{85} = 85^e centile de vitesse des véhicules ayant priorité de passage (km/h)
- t = temps de manœuvre (créneau) (s)

Figure DV-4 Ensemble des distances de visibilité de manoeuvre en intersection

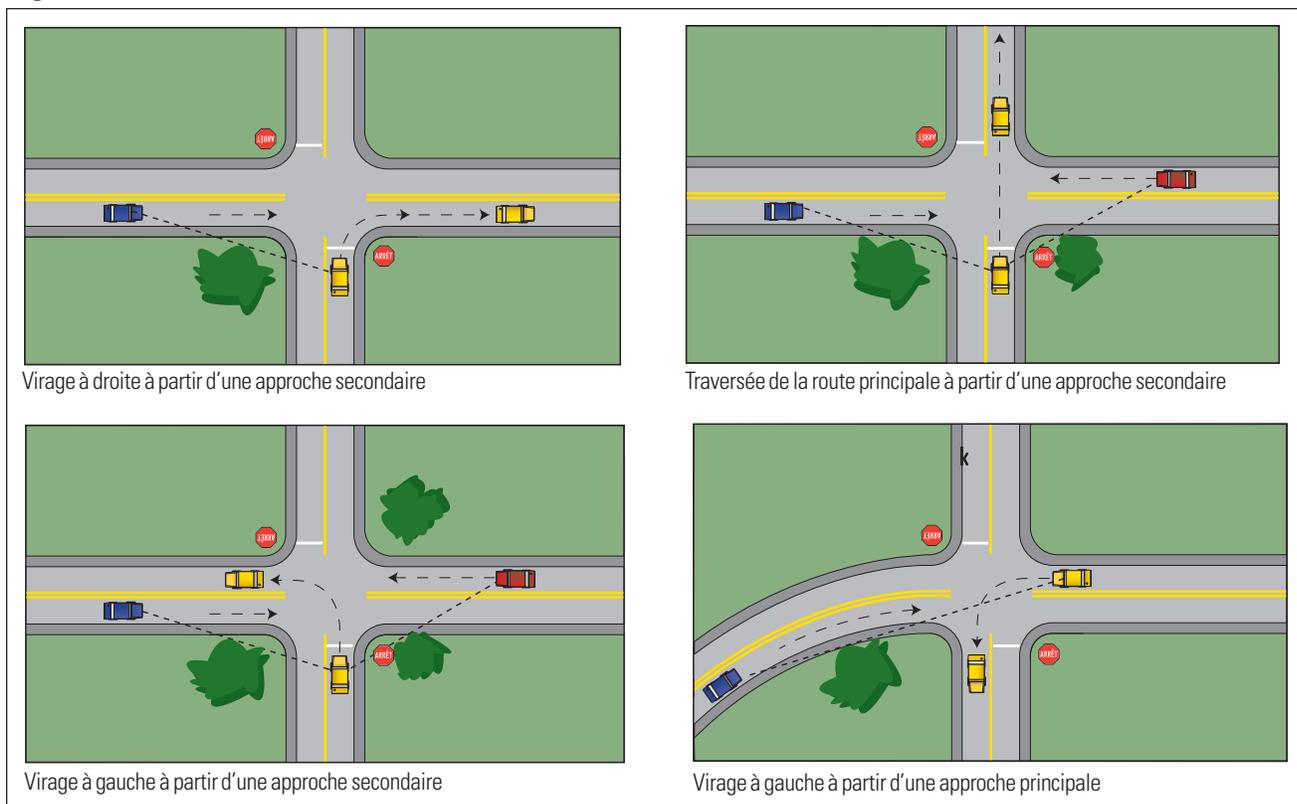


Tableau DV-6 Créneau nécessaire – Manoeuvre à une intersection (véhicules passagers)

FRANCE	ANGLETERRE	ESPAGNE	ÉTATS-UNIS
6 - 8 s	5 - 8 s	6 - 8 s	6,5 - 7,5 s

Véhicules lourds

Lorsque le trafic lourd est important, il peut être nécessaire d'allonger les créneaux de manoeuvre pour tenir compte des caractéristiques de ces véhicules (plus faibles taux d'accélération et décélération, plus grandes dimensions). Tel qu'illustré au tableau DV-7, les distances de visibilité requises peuvent ainsi augmenter de façon significative.

Tableau DV-7 Distance de visibilité de manoeuvre requise (virage à gauche de la secondaire)

V ₈₅ ROUTE PRINCIPALE (km/h)	DISTANCE DE VISIBILITÉ REQUISE (m)		
	VÉHICULE PASSAGER	CAMION	SEMI- REMORQUE
50	95	150	195
60	115	180	235
70	135	210	275
80	150	240	315
90	170	270	355
100	190	300	395

Source : Transportation Association of Canada, 1999

Triangle de visibilité

INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES ET CARREFOURS GIRATOIRES

TOUTS LES TYPES D'INTERSECTIONS SANS MODE DE CONTRÔLE OU AVEC « CÉDEZ »

TOUTES LES APPROCHES

À ces intersections, la visibilité disponible doit permettre aux conducteurs de détecter à l'avance les véhicules qui circulent sur des approches adjacentes et avec lesquels ils pourraient être en conflit. Ils doivent disposer du temps nécessaire pour modifier leur vitesse de façon à éviter l'accident. Des zones dégagées de toute obstruction visuelle doivent en conséquence être aménagées et maintenues sur les abords de ces intersections. Cette zone est appelée triangle de visibilité.

Les dimensions des triangles de visibilité varient selon :

- le type d'intersection (conventionnelle ou carrefour giratoire);
- le mode de contrôle de la circulation (aucun ou cédez);
- la vitesse d'approche des véhicules;
- les hypothèses sur le comportement des conducteurs (temps de réaction, taux de décélération).

Intersections conventionnelles

La figure DV-5 montre qu'à une intersection conventionnelle sans contrôle, la dimension des triangles de visibilité est définie, pour le conducteur du véhicule 1, par les longueurs de D_1 et D_2 d'une part et de D_1 et D_3 d'autre part. En Espagne, ces longueurs doivent être au minimum équivalentes à la distance parcourue pendant un intervalle de 3 s à la vitesse V_{85} sur les approches considérées.

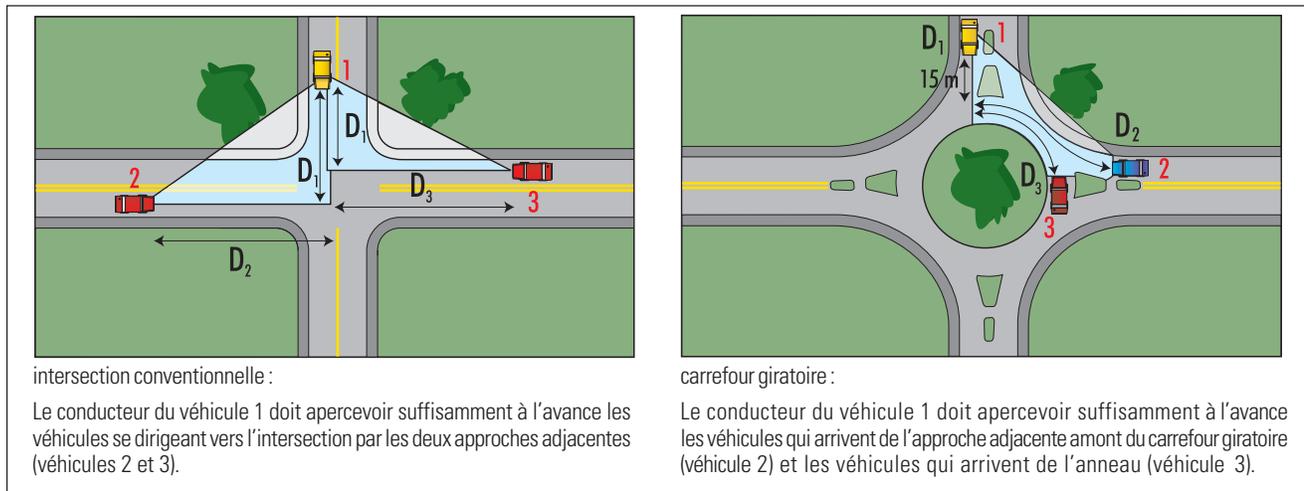
Carrefour giratoire

À un carrefour giratoire, les dimensions du pseudo-triangle de visibilité sont définies par les distances D_1 , D_2 et D_3 suivantes (voir figure DV-5).

- D_1 : distance entre le véhicule et la ligne de cédez le passage; une distance de 15 m est généralement jugée adéquate dans le but d'éviter les vitesses d'approches excessives pouvant résulter de plus grandes distances de visibilité.
- D_2 : distance sécuritaire entre le conducteur du véhicule 1 et le conducteur du véhicule 2 qui se dirige vers le carrefour giratoire à partir de l'approche amont.
- D_3 : distance sécuritaire entre le conducteur du véhicule 1 et le conducteur du véhicule 3 qui s'approche à partir de l'anneau.

Les distances recommandées aux États-Unis pour les intersections conventionnelles sans contrôle et pour les carrefours giratoires sont indiquées aux tableaux **DV-8** et **DV-9**.

Figure DV-5 Triangles de visibilité^a



^a conduite à droite

Tableau DV-8 Triangle de visibilité
Intersections sans contrôle

VITESSE DE CONCEPTION DE L'APPROCHE (km/h)	DISTANCES D ₁ , D ₂ ET D ₃ (m)
30	25
50	45
70	65
90	90
100	105
120	135

Source : A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Copyright 2001, par l'American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reproduit avec permission.

Tableau DV-9 Triangle de visibilité
Carrefours giratoires

VITESSE DE LA CIRCULATION CONFLICTUELLE (km/h)	DISTANCE D ₁ (m)	DISTANCES D ₂ ET D ₃ (m)
20	15	36
25	15	45
30	15	54
35	15	63
40	15	72

Source : Federal Highway Administration, 2000



Obstructions visuelles dans le quadrant d'une intersection conventionnelle.

Distance de visibilité d'anticipation (intersection et section)

Certains pays appliquent le concept de distance de visibilité d'anticipation dans les situations complexes ou inattendues. Cette distance offre une marge de sécurité supplémentaire par rapport à la distance de visibilité d'arrêt (tableau DV-10).

Par exemple, les normes canadiennes recommandent d'utiliser la distance de visibilité d'anticipation dans les situations suivantes (Transportation Association of Canada, 1999) :

- intersections ou échangeurs complexes;
- endroits exigeant des manœuvres inhabituelles et inattendues;
- changements importants dans le profil en travers;
- zones de travaux.

Tableau DV-10 Comparaison – Distances de visibilité d'arrêt et d'anticipation

	VITESSE (km/h)				
	70	80	90	100	110
Distance de visibilité d'arrêt (m)	110	140	170	210	250
Distance de visibilité d'anticipation (m)	200	230	275	315	335

Source : Transportation Association of Canada, 1999

SECTIONS

En section, ce sont principalement dans les courbes horizontales et verticales que surviennent les problèmes de visibilité. Ces situations sont traitées dans les fiches techniques correspondantes :

distance de visibilité en courbe horizontale (intérieur des courbes);
distance de visibilité en courbe verticale.

Distance de visibilité d'arrêt ou d'anticipation

Tel que mentionné en introduction, la distance de visibilité disponible doit, en tout point du réseau, permettre à un conducteur qui circule à une vitesse raisonnable (V_{85}), d'immobiliser son véhicule de façon sécuritaire avant d'entrer en collision avec un objet stationnaire situé sur sa voie (*distance de visibilité d'arrêt* et *distance de visibilité d'anticipation*).

Distance de visibilité de dépassement

La distance de visibilité de dépassement correspond à la distance sur laquelle un conducteur doit voir devant lui sur la voie opposée, pour être en mesure de compléter une manœuvre de dépassement de façon sécuritaire. Cette distance est nécessaire sur les routes bidirectionnelles à 2 voies, aux endroits où le marquage permet le dépassement par la voie opposée. La manœuvre peut être décomposée en quatre étapes, tel qu'illustré à la figure DV-6 : perception et réaction (le conducteur décide d'amorcer une manœuvre de dépassement), manœuvre de dépassement, marge de sécurité et distance parcourue par le véhicule circulant en direction opposée. Les valeurs des distances de visibilité de dépassement requises peuvent varier de façon significative en fonction des hypothèses posées à chacune de ces étapes (*tableau DV-11*).

Les manœuvres de dépassements sont rarement possibles dans les courbes horizontales et verticales (*tracé en plan – dépassement* et *courbes verticales - dépassement*) et l'interdiction de dépassement doit être évidente en tout temps lorsque la manœuvre est hasardeuse (marquage d'interdiction de dépassement clairement visible, barrière médiane).

Il faut aussi vérifier si les possibilités de dépassement sont suffisantes sur l'ensemble de l'itinéraire considéré (*tracé en plan – dépassement*).

Figure DV-6 Manoeuvre de dépassement

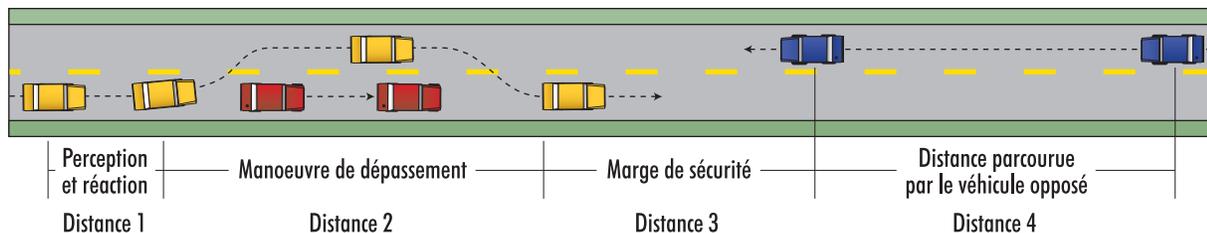


Tableau DV-11 Distances de visibilité de dépassement recommandées

Pays	VITESSE (km/h)								
	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Afrique du Sud	340	420	490	560	620	680	740	800	-
Allemagne	-	475	500	525	575	625	-	-	-
Australie	330	420	520	640	770	920	1100	1300	1500
Autriche	-	400	-	525	-	650	-	-	-
Canada	340	420	480	560	620	680	740	800	-
États-Unis	345	407	482	541	605	670	728	792	-
Grèce	-	475	500	525	575	625	-	-	-
Royaume-Uni	290	345	410	-	-	580	-	-	-

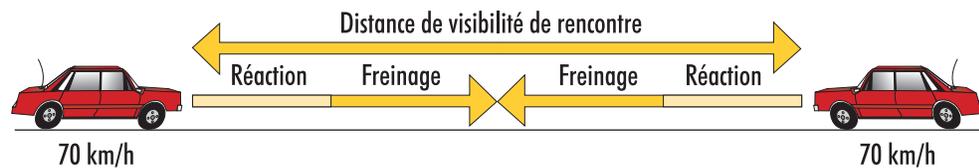
Source : Harwood et al., 1995

Distance de visibilité de rencontre

Certains pays utilisent le critère de distance de visibilité de rencontre. Il s'agit de la distance nécessaire pour que deux véhicules circulant en direction opposée puissent s'immobiliser sans entrer en collision. Cette distance de visibilité doit être considérée lorsque la circulation est permise dans les deux sens mais que la largeur de la chaussée est insuffisante pour permettre des croisements de véhicules sécuritaires (p. ex. pont étroit).

La distance de visibilité de rencontre se calcule en additionnant les distances de visibilité d'arrêt des deux véhicules (figure DV-7).

Figure DV-7 Distance de visibilité de rencontre



RÉFÉRENCES

American Association of State Highway and Transportation Officials (2001) *A Policy on geometric design of highways and streets, fourth edition*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC., 905 p. Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.

Fambro, D.B., Fitzpatrick, K., and Koppa, R. (1997) *Determination of stopping sight distance*, NCHRP Report 400, Transportation Research Board, Washington, DC.

Federal Highway Administration (2000) *Roundabouts: An Informational Guide*, FHWA-RD-00-067, Federal Highway Administration (<http://tfhrc.gov/safety/00068.htm>).

Harwood D.W., Fambro, D.B., Fishburn, B., Joubert, H., Lamm, R. and Psarianos, B. (1995) *International sight distance design practices*, International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Transportation Research Board, Boston, Massachusetts, U.S.A.

Lamm, R., Psarianos, B. and Mailaender, T. (1999) *Highway design and traffic safety engineering handbook*, McGraw-Hill.

Transportation Association of Canada (1999) *Geometric design guide for Canadian roads*, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada.

ÉTAT DE LA SURFACE DE ROULEMENT

Fiche technique

Carl Bélanger et Patrick Barber

ÉTAT DE LA SURFACE DE ROULEMENT

Fiche technique

	Page
RÉSUMÉ	404
FROTTEMENT	406
UNI	411
RÉFÉRENCES	414
ANNEXE SR-1 COEFFICIENTS DE FROTTEMENT (CONCEPTION)	417

LISTE DES FIGURES

Figure SR-1	Coefficient de frottement	406
Figure SR-2	Frottement longitudinal (f_l) et transversal (f_t)	407
Figure SR-3	Coefficient d'accroissement du risque (C_{ar})	410
Figure SR-4	Échelle d'IRI	411

LISTE DES TABLEAUX

Tableau SR-1	Coefficients de frottement selon les conditions de surface	406
Tableau SR-2	Exemples – Coefficients de frottement longitudinal disponible en courbe	408
Tableau SR-3	Adhérence – Seuils d'investigation selon les catégories de sites (Royaume-Uni)	409
Tableau SR-4	Exemples de valeurs d'IRI critiques – Routes rurales principales (Espagne)	411
Tableau SR-A1	Coefficients de frottement longitudinal (f_l)	418
Tableau SR-A2	Coefficients de frottement transversal (f_t)	418

RÉSUMÉ

Principes généraux

Cette fiche technique décrit la relation entre la sécurité et deux caractéristiques de la surface de roulement - le frottement et l'uni.

De façon générale, le frottement est défini comme étant une résistance au mouvement entre deux surfaces en contact. Dans le cas du transport routier, les surfaces considérées sont les pneus et la surface de roulement. On distingue la composante de **frottement longitudinal** (qui affecte les accélérations et le freinage) et la composante de **frottement transversal** (qui permet les changements de direction). Il y a une relation étroite entre frottement et sécurité.

L'uni est une mesure de la planéité de la surface de roulement. La qualité de l'uni peut être affectée par différents types de fissures, déformations ou problèmes de désintégration. On distingue les composantes longitudinale et transversale de l'uni d'une surface de roulement. L'uni longitudinal est généralement mesuré en termes d'IRI (indice de rugosité international), qui mesure les déplacements verticaux de la suspension d'un véhicule le long d'une route, sous des conditions standardisées. L'analyse de l'uni transversal d'une route permet de détecter différents types de problèmes dont la profondeur d'orniérage. Les défauts d'unis ont une influence directe sur le niveau de confort des occupants d'un véhicule, ses coûts d'exploitation, et ils peuvent aussi avoir un certain effet sur la sécurité.



Véhicule multi-fonctions

Des véhicules multi-fonctions permettent maintenant de mesurer plusieurs caractéristiques de la surface de roulement en simultanément.

Accidents

Frottement

Le taux d'accidents augmente à mesure que l'adhérence de surface (ou la **résistance au dérapage**¹) diminue. La situation est pire lorsque la chaussée est mouillée car le contact entre les pneus et la route est alors réduit (la concentration d'accidents sur surface mouillée peut donc être indicatrice d'un problème d'adhérence). Les conditions suivantes accroissent encore davantage le risque d'accident :

- le problème se situe à un endroit où les besoins d'adhérence sont élevés (p. ex. approche d'une intersection, courbe horizontale, pente descendante);
- le problème est isolé (p. ex. contamination de la surface de roulement).

Dans bien des cas les conducteurs ont de la difficulté à reconnaître les problèmes d'adhérence et ne peuvent, en conséquence, réduire leur vitesse pour maintenir leur risque à un niveau qu'ils considèrent acceptables.

Uni

La littérature actuelle ne permet pas d'établir de relation aussi évidente entre sécurité et uni. Cette situation peut être en partie attribuable au fait que plusieurs études rapportées comportent une proportion importante de sites ayant des défauts d'unis mineurs.

¹ La résistance au dérapage est définie comme étant la force de retard générée par l'interaction entre un pneu et une surface de roulement, sous des conditions de roue bloquée sans rotation (ASTM-E867). La résistance au dérapage est fonction du coefficient de frottement.

On peut cependant s'attendre à une augmentation du risque d'accident lorsque les problèmes d'uni sont suffisamment importants pour produire l'un ou l'autre des effets suivants : réduction du contact entre les pneus et la chaussée, manœuvres d'évitement dangereuses, pertes de contrôle, bris mécaniques ou encore accumulations d'eau sur la chaussée (p. ex. affaissements, ornières).

Effet du resurfaçage

Plusieurs études ont cherché à déterminer l'effet du resurfaçage sur la sécurité.

En 1987, les conclusions de Cleveland étaient les suivantes :

« Les opérations de resurfaçage de routes rurales qui ont été effectuées pour corriger des déficiences de nature structurelle ou des lacunes affectant le confort de roulement ont entraîné une augmentation immédiate du nombre total d'accidents de 2 % en moyenne (en tout cas moins de 5 %), correspondant à une augmentation de 10% des accidents sur chaussée sèche et à une diminution comparable des accidents sur chaussée mouillée. »

« Dans le cas de routes rurales où le resurfaçage a été motivé par un problème d'accidents sur chaussée mouillée - plus de 25 % du total, par exemple - on a pu constater une diminution immédiate de 15% à 70 % de ces accidents, se traduisant sans doute par une réduction moyenne de 20 % sur la durée de vie du projet. »

« Les opérations de resurfaçage en milieu urbain devraient se traduire par des réductions moyennes d'accidents d'environ 25 % sur la durée de vie de l'ouvrage. »

Les conclusions de Schandersson (1994) sont similaires.

Certaines études ont cherché à comparer l'effet de sécurité d'interventions qui ne consistaient qu'en un resurfaçage avec celles comportant en plus d'autres types d'améliorations. Ainsi :

- Hauer et al (1994) concluent que les projets consistant en un resurfaçage uniquement avaient pour effet initial de réduire le niveau de sécurité alors que les projets impliquant le resurfaçage et d'autres améliorations à la route² avaient pour effet initial d'améliorer la sécurité. Ils concluent aussi que la sécurité s'améliore un certain temps après le resurfaçage.
- Il faut cependant noter qu'une étude plus récente, qui visait aussi à estimer l'impact du resurfaçage sur la sécurité avec ou sans intervention additionnelle, n'a cependant pu conclure de façon claire sur le sujet et recommande des recherches supplémentaires (Hughes et al., 2001).

Observations

- **frottement**
- **uni**

Solutions possibles

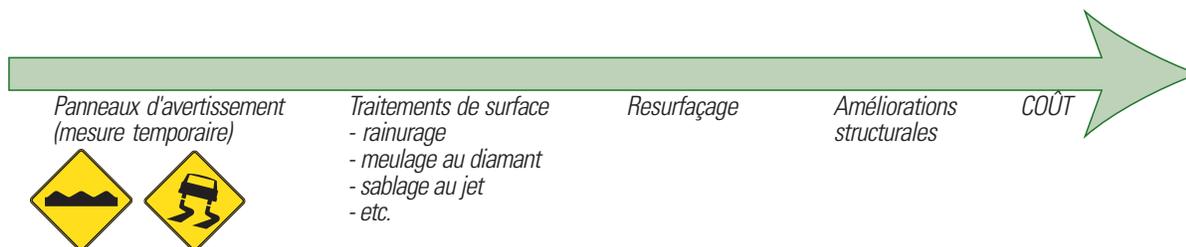
La solution la plus courante aux défauts des surfaces de roulement consiste en un resurfaçage, qui peut corriger différents types de problèmes d'adhérence ou d'uni.

Cependant, des interventions plus coûteuses pourront s'avérer nécessaires si les problèmes résultent de déficiences structurales et requièrent des améliorations au niveau des fondations de la route.

A l'inverse, différents types de traitements superficiels moins coûteux peuvent aussi être envisagés dans certains cas, tout dépendant du type de problème rencontré.

² Les éléments le plus souvent inclus consistaient en des améliorations au dévers, accotements, drainage, pentes de talus, glissières de sécurité et abords de route (enlèvement ou déplacement d'objets fixes).

Lorsque les défauts de surface sont susceptibles d'accroître le risque d'accident et qu'une intervention rapide ne peut être effectuée, il faut s'assurer d'avertir les usagers qui s'approchent du site à l'aide d'une signalisation appropriée (mesure temporaire).



FROTTEMENT

Description

De façon générale, le frottement est une résistance au mouvement entre deux surfaces en contact. Sa valeur s'exprime à l'aide du coefficient de frottement (f), qui consiste en un rapport entre deux forces, l'une parallèle à la surface de contact et qui s'oppose au mouvement (force de frottement), l'autre perpendiculaire à cette force (force normale) (figure SR-1). Dans le domaine du transport routier, la surface de contact consiste en l'interface pneu-chaussée tandis que la force normale correspond à la charge sur la roue.

Les valeurs de coefficients de frottement varient de près de zéro sur une chaussée glacée à plus de 1,0 dans les meilleures conditions de surface (tableau SR-1).

Figure SR-1 Coefficient de frottement

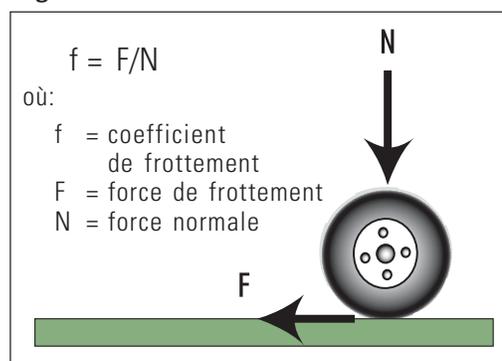


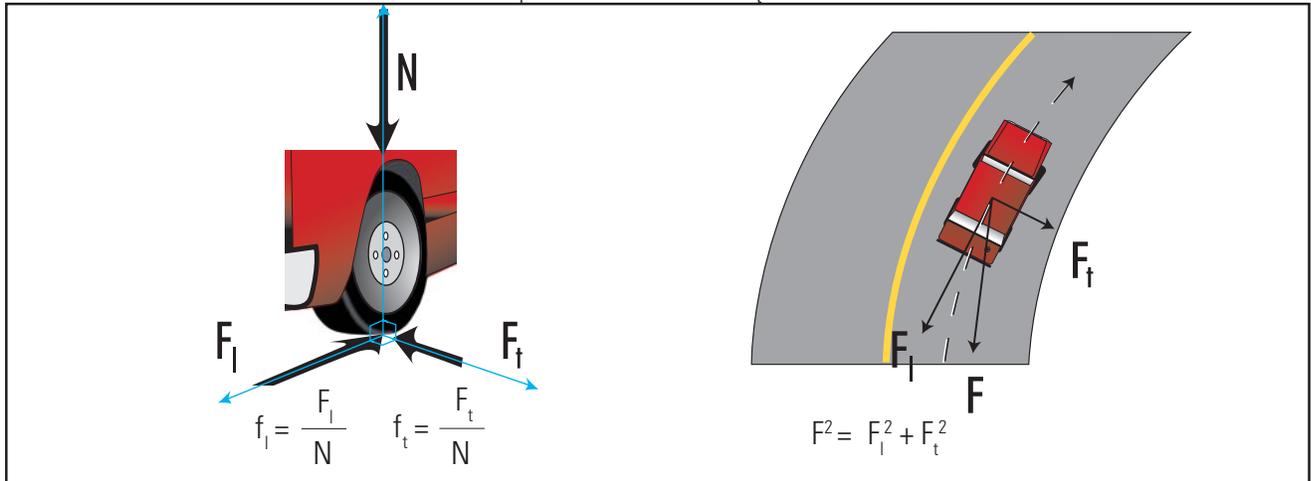
Tableau SR-1 Coefficients de frottement selon les conditions de surface

TYPE DE CHAUSSÉE	SÈCHE				MOUILLÉE			
	MOINS DE 50 km/h		PLUS DE 50 km/h		MOINS DE 50 km/h		PLUS DE 50 km/h	
	DE	À	DE	À	DE	À	DE	À
Ciment Portland								
Neuf	0,80	1,20	0,70	1,00	0,50	0,80	0,40	0,75
Usure normale	0,60	0,80	0,60	0,75	0,45	0,70	0,45	0,65
Poli par la circulation	0,55	0,75	0,50	0,65	0,45	0,65	0,45	0,60
Enrobés bitumineux								
Neuf	0,80	1,20	0,65	1,00	0,50	0,80	0,45	0,75
Usure normale	0,60	0,80	0,55	0,70	0,45	0,70	0,40	0,65
Poli par la circulation	0,55	0,75	0,45	0,65	0,45	0,65	0,40	0,60
Excès de bitume	0,50	0,60	0,35	0,60	0,30	0,60	0,25	0,55
Gravier								
Compacte, huilé	0,55	0,85	0,50	0,80	0,40	0,80	0,40	0,60
non-compacté	0,40	0,70	0,40	0,70	0,45	0,75	0,45	0,75
Cendres								
Compacté	0,50	0,70	0,50	0,70	0,65	0,75	0,65	0,75
Pierre								
Concassée	0,55	0,75	0,55	0,75	0,55	0,75	0,55	0,75
Glace								
Lisse	0,10	0,25	0,07	0,20	0,05	0,10	0,05	0,10
Neige								
Compactée	0,30	0,55	0,35	0,55	0,30	0,60	0,30	0,60
Non-compactée	0,10	0,25	0,10	0,20	0,30	0,60	0,30	0,60

Source: Fricke, 1990

L'analyse du frottement s'effectue à partir de ses composantes longitudinale et transversale.

Figure SR-2 Frottement longitudinal (f_l) et transversal (f_t)



Le frottement longitudinal (f_l)

Le coefficient de frottement longitudinal (f_l) est une mesure du frottement dans la direction de déplacement du véhicule (figure SR-2). Les distances d'accélération et de décélération allongent à mesure que les valeurs de f_l diminuent.

On peut calculer les distances de freinage à l'aide des équations SR-1 ou SR-2:

- l'équation SR-1 suppose une valeur constante de friction longitudinale, peu importe la vitesse du véhicule. Il s'agit d'une simplification de la réalité qui est souvent utilisée dans la pratique (**ajustement du coefficient de frottement en fonction de la vitesse**);
- l'équation SR-2, permet d'obtenir des distances de freinage plus précises car elle prend en compte la diminution de frottement associée à une augmentation de vitesse. La relation entre vitesse et frottement doit être connue pour utiliser cette équation.

La différence de résultats obtenus avec ces deux équations dépend des caractéristiques de la surface de roulement. Une équation similaire calcule la distance de freinage en utilisant le taux de décélération des véhicules plutôt que le coefficient de frottement longitudinal (**équation DV-2**).

Un utilitaire de calcul du manuel permet de déterminer les distances de freinage à l'aide de l'une ou l'autre de ces trois équations. Si V_f est égal à zéro, le résultat correspond à la distance d'arrêt.

$$\text{Distance de freinage} = \frac{V_i t}{3,6} + \frac{V_i^2 - V_f^2}{254 (f_l \pm G)} \quad [\text{Eq. SR-1}]$$

ou

$$\text{Distance de freinage} = \frac{V_i t}{3,6} + \int_{V_i}^{V_f} \frac{V}{127 (f_{lv} \pm G)} dV \quad [\text{Eq. SR-2}]$$

où:

V_i = vitesse initiale (km/h)

V_f = vitesse finale (km/h)

t = temps de réaction (s)

f_l = coefficient de frottement longitudinal

f_{lv} = coefficient de frottement longitudinal à la vitesse V

G = pente (%/100)

[DISTANCE DE FREINAGE (TANGENTE) 

Le frottement transversal (f_t)

Le coefficient de frottement transversal (f_t) est une mesure de l'adhérence de surface dans une direction perpendiculaire au sens de déplacement du véhicule (figure SR-2). C'est cette composante du frottement qui permet les changements de direction.

L'**annexe TP-1** de la fiche technique sur l'alignement horizontal décrit la relation entre différents paramètres d'une courbe et montre comment calculer la vitesse maximale (théorique) à laquelle il est possible de circuler dans une courbe lorsque son rayon, son dévers et son coefficient de frottement transversal sont connus. De façon semblable, on peut aussi calculer le coefficient de frottement transversal requis en fonction d'une vitesse, d'un rayon de courbure et d'un dévers. Un utilitaire de calcul a été développé à cette fin.

[ÉQUATIONS DE BASE ]

Les valeurs de frottement longitudinal et transversal sont en général très similaires, sauf aux sites où des conditions locales ont pu entraîner le vieillissement prématuré de la surface de roulement dans une direction particulière.

Combinaison de f_l et de f_t : changements de direction et freinage en simultané

Lorsque des manœuvres de freinage et des changements de directions doivent être effectués en même temps (p. ex. freinage dans une courbe), le frottement disponible se partage entre sa composante longitudinale et sa composante transversale, ce qui allonge la distance de freinage (eq. SR-3).

$$bd_{\text{courbe}} = \frac{V_i t}{3,6} + \frac{V_i^2 - V_f^2}{254 \left(\sqrt{f^2 - \left(\frac{V_i^2}{127R} - e \right)^2} \pm G \right)} \quad [\text{Eq. SR-3}]$$

où:

- bd_{courbe} = distance de freinage en courbe (m)
- f = coefficient de frottement
- R = rayon de courbure (m)
- e = dévers

[DISTANCE DE FREINAGE (COURBE) ]

Frottement et conception routière

Les routes doivent être conçues de façon à permettre des déplacements sécuritaires même lorsque les conditions ne sont pas idéales. Les coefficients de frottement longitudinal qui sont utilisés à l'étape de conception supposent en conséquence des conditions de surface mouillée et des pneus usés³. On trouvera à l'**annexe SR-1** les valeurs de frottement longitudinal recommandées dans plusieurs pays ; elles varient de 0,45 (à 30 km/h) à moins de 0,30 (à vitesse élevée).

Les valeurs des coefficients de frottement transversal utilisées à l'étape de conception routière sont pour leur part davantage liées à des critères de confort que de sécurité ; elles dépendent de la vitesse à laquelle l'effet de la force centrifuge devient suffisamment inconfortable pour que les conducteurs sentent le besoin de ralentir. L'**annexe SR-1** montre les valeurs de f_t recommandées dans plusieurs pays. Sauf exceptions, elles varient entre 0,07 et 0,18. Des valeurs aussi faibles permettent de conserver plus de 90 % du frottement total pour d'éventuelles manœuvres de freinage en courbe. On évite ainsi un allongement excessif des distances de freinage (tableau SR-2).

Tableau SR-2 Exemples – Coefficients de frottement longitudinal disponible en courbe

VITESSE DE CONCEPTION (km/h)	f	f_t	f_t^1	f_t / f
50	0,40	0,16	0,37	92%
100	0,28	0,11	0,26	92%

¹ f_t disponible en courbe est calculé selon $f_{\text{tot}}^2 - f_t^2 = f_l^2$

³ Sans aller pour autant jusqu'à assumer des conditions très défavorables, telles une chaussée enneigée, glacée ou inondée, où l'on s'attend à ce qu'un conducteur « raisonnable » réduise sa vitesse.

Frottement sur routes existantes

Les valeurs de coefficients de frottement utilisées en conception routière constituent des minimums absolus. Des coefficients plus élevés doivent nécessairement être disponibles sur le réseau existant, particulièrement aux endroits où les besoins d'adhérence sont plus élevés (p. ex. approche d'intersection, courbe horizontale, pente descendante).

Au Royaume-Uni, le réseau routier est subdivisé en 13 catégories de sites ayant des seuils d'investigation spécifiques (tableau SR-3).

Tableau SR-3 Adhérence – Seuils d'investigation selon les catégories de sites (Royaume-Uni)

CATÉGORIE DE SITE	DESCRIPTION	SEUILS D'INVESTIGATION POUR LE COEFFICIENT DE FROTTEMENT TRANSVERSAL MOYEN D'ÉTÉ À 50 KM/H							
		0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
A	AUTOROUTE								
B	ROUTE À CHAUSSÉES SÉPARÉES (USAGE GÉNÉRAL) TRONÇONS SANS ÉVÈNEMENT								
C	ROUTE À CHAUSSÉE UNIQUE TRONÇONS SANS ÉVÈNEMENT								
D	ROUTE À CHAUSSÉES SÉPARÉES (USAGE GÉNÉRAL) INTERSECTIONS MINEURES								
E	ROUTE À CHAUSSÉE UNIQUE INTERSECTIONS MINEURES								
F	APPROCHES ET ZONES DE CROISEMENT DES INTERSECTIONS MAJEURES (TOUTES LES BRANCHES)								
G1	PENTE 5 % À 10 % ET DE PLUS DE 50 m – CHAUSSÉES SÉPARÉES (DESCENTE SEULEMENT) – CHAUSSÉE UNIQUE (MONTÉE ET DESCENTE)								
G2	PENTE DE PLUS DE 10 % ET DE PLUS DE 50 m – CHAUSSÉES SÉPARÉES (DESCENTE SEULEMENT) – CHAUSSÉE UNIQUE (MONTÉE ET DESCENTE)								
H1	COURBE (SANS LIMITE DE VITESSE DE 40 MI/H OU MOINS) RAYON DE COURBURE < 250 m								
J	APPROCHE DE CARREFOUR GIRATOIRE								
K	APPROCHE DE FEUX, TRAVERSE PIÉTONS, TRAVERSE À NIVEAU OU AUTRE ÉLÉMENT SEMBLABLE								
		SEUILS D'INVESTIGATION À 20 KM/H							
		0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
H2	COURBE (SANS LIMITE DE VITESSE DE 40MI/H OU MOINS) RAYON DE COURBURE < 100 m								
L	CARREFOUR GIRATOIRE								

1. Les seuils d'investigation sont pour la valeur moyenne de résistance au dérapage sur la longueur de segment appropriée.
2. Les seuils d'investigation pour les catégories A, B et C sont pour des segments d'une longueur de 100 m.
3. Les seuils d'investigation pour les catégories D, E, F, J et K sont pour les 50 m à l'approche de l'élément.
4. Les seuils d'investigation pour les catégories G et H sont pour des segments d'une longueur de 50 m ou pour la longueur de la courbe si elle est inférieure pour la catégorie H
5. Le seuil d'investigation pour la catégorie L est pour des segments d'une longueur de 10 m.
6. Les longueurs résiduelles de segments inférieures à 50 % d'un segment complet doivent être rattachées à l'avant-dernier segment.
7. Les valeurs individuelles dans chaque segment devraient être examinées et la signification de valeurs considérablement inférieures à la moyenne devrait être analysée.

Source: Design manual for roads and bridges (<http://www.official-documents.co.uk/document/deps/ha/dmrb/index.htm>).

Sécurité

Le risque d'accident augmente à mesure que l'adhérence de surface diminue (figure SR-3). Tel que mentionné en introduction, les accidents liés à des problèmes d'adhérence surviennent principalement sur chaussée mouillée, car le frottement disponible est alors réduit. De plus, ces concentrations d'accidents sur chaussée mouillée sont plus grandes aux sites ayant une faible adhérence et des exigences de frottement élevées :

- Page et Butas (1986) indiquent que les taux d'accidents sur chaussée mouillée sont les plus élevés dans les courbes horizontales, particulièrement à celles où l'**indice de glissance**⁴ est inférieur à 25. Les taux étaient également moins élevés en terrain plat que dans les pentes supérieures à 3 % (ascendantes et descendantes).
- Farber et al. (1974) rapportent que seulement 2,3 % des accidents sur chaussée mouillée se sont produits dans des tronçons droits, où les exigences de frottement sont relativement faibles.
- Parry et al. (2001) concluent que les conditions de conduite qui sont parmi les plus dangereuses sont celles qui résultent d'une diminution du frottement à la suite de fortes pluies, aux endroits où la configuration géométrique est difficile ou encore à ceux où le coefficient de frottement diminue subitement, ce qui peut-être attribuable à une contamination de surface locale, à une détérioration subite de la chaussée ou à une première chute de neige.

En Angleterre, l'utilisation de matériaux de surface anti-dérapant s'est révélé être la mesure de réduction des accidents la plus efficace aux intersections majeures en milieu urbain, en l'absence de mesures de modération de la vitesse (DOT London, 2001).

Comment détecter les problèmes

Accidents : accidents sur chaussée mouillée

Circulation : dérapage

Caractéristiques de surface :

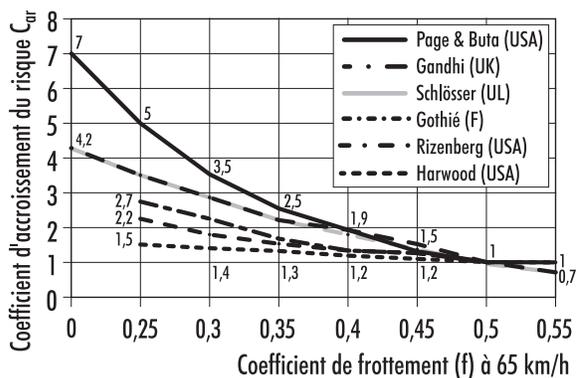
- vieillissement des granulats;
- ressuage;
- accumulation d'eau ou de débris (vérifier les installations de drainage);
- présence d'éléments qui exigent un niveau élevé d'adhérence (intersection, courbe horizontale, pentes, etc.).



Ressuage

Ces différents problèmes sont décrits dans la 4^e partie du manuel à «*Étude de frottement*».

Figure SR-3 Coefficient d'accroissement du risque (C_{ar})



Source: Delanne and Travert, 1997

⁴ Indice de glissance (en anglais skid number) = 100 f₁

Description

L'uni est une mesure de la planéité de la surface de roulement. Tous les types de chaussées (rigide, flexible, gravier, etc.) se dégradent à un rythme qui varie en fonction de l'action combinée de plusieurs facteurs :

- charge axiale des véhicules;
- débits de circulation;
- conditions climatiques;
- qualité des matériaux;
- techniques de construction.

Ces dégradations affectent l'uni, en causant soit des fractures, des déformations ou des problèmes de désintégration.

Uni longitudinal

Différents indicateurs peuvent être utilisés pour décrire la qualité de l'uni longitudinal d'une surface de roulement, mais l'indice de rugosité international (IRI), qui a été développé par la Banque mondiale dans les années 1980, est aujourd'hui le plus utilisé.

L'IRI mesure les déplacements verticaux de la suspension d'un véhicule qui circule le long d'une route en utilisant des conditions d'essais normalisées (on mesure le nombre de mètres de déplacement vertical par kilomètre parcouru).

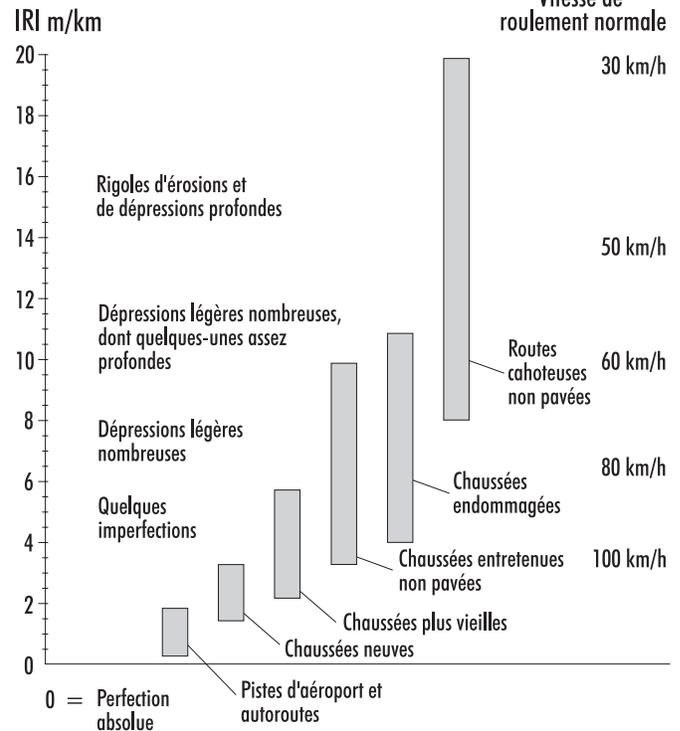
L'un des principaux avantages de l'IRI par rapport aux méthodes de mesure plus anciennes est sa fiabilité : les conditions de tests facilitent en effet la répétabilité des essais et les comparaisons de résultats.

De façon typique, les valeurs d'IRI varient entre 0 m/km et 20 m/km (le « 0 », représentant des conditions parfaites (tableau SR-4 et figure SR-4).

Tableau SR-4 Exemples de valeurs d'IRI critiques Routes rurales principales (Espagne)

VALEUR IRI	POURCENTAGE MINIMUM DE LONGUEUR INFÉRIEURE AU SEUIL D'IRI
1,5	50
2,0	80
2,5	100

Figure SR-4 Échelle d'IRI



Source: Sayers, Gillespie et Paterson, 1986



Dégradation avancée de la surface de roulement (combinaison de différents types de problèmes : fractures, nids de poules, soulèvements et affaissements).

Uni transversal

La mesure du profil transversal de la surface de roulement permet de détecter différents types de problèmes : orniérage, bombement inadéquat, affaissement entre la voie et l'accotement, etc.

Plusieurs administrations routières ont établi des seuils d'intervention en fonction de la profondeur d'orniérage. La présence d'ornières rend en effet plus difficiles les déplacements latéraux des véhicules, accroît l'inconfort et les possibilités de pertes de contrôle. Les ornières peuvent aussi causer des accumulations d'eau, augmentant ainsi le risque d'aquaplanage. La situation est particulièrement problématique pour les véhicules à deux roues. Une profondeur d'orniérage de 20 mm à 25 mm est souvent considérée comme étant critique. Elle se mesure manuellement ou à l'aide d'appareils lasers.



Soulèvement



Ornière

Sécurité

Lorsque l'uni est fortement dégradé sur l'ensemble d'un tronçon routier, les usagers diminuent leur vitesse pour ramener leur inconfort à un niveau qu'ils jugent acceptable, réduisant du même coup l'effet négatif potentiel sur la sécurité.

Cet effet peut cependant être plus important si les défauts d'uni sont de nature ponctuelle, inattendue et s'ils sont importants. De telles situations peuvent en effet engendrer des manœuvres d'évitement dangereuses, des pertes de contrôle ou des bris mécaniques des véhicules, augmentant alors le risque d'accident. Les diminutions d'adhérence occasionnées par les oscillations verticales des véhicules peuvent aussi s'avérer problématiques, particulièrement pour les véhicules lourds et lorsque les défauts d'uni sont ponctuels.

Selon Al-Masaeid (1997), l'impact des défauts d'uni sur la sécurité dépend du type d'accident considéré :

- le taux d'accidents impliquant un seul véhicule diminue à mesure que l'IRI augmente, ce qui serait attribuable à une diminution des vitesses pratiquées;
- le taux d'accidents impliquant plus d'un véhicule augmente, ce qui serait attribuable aux déplacements latéraux et aux différentiels de vitesse entre les usagers.

Il faut cependant noter qu'une amélioration de la qualité de l'uni résultant d'un resurfaçage peut accroître les vitesses pratiquées et ainsi avoir un léger impact négatif sur la sécurité (*effets du resurfaçage sur la sécurité*).

En ce qui concerne les ornières, certaines études font état d'augmentations d'accidents avec la profondeur d'orniérage, lorsque la chaussée est mouillée (Schandersson, 1994; Start et al., 1995).

Comment détecter les problèmes (uni)

Circulation :

- manœuvres dangereuses ou positionnement latéral dangereux des véhicules (dans le but d'éviter les défauts de surface).

Caractéristiques physiques :

- défauts de surface excessifs (nids de poule, fissures, ondulations, orniérage, autres déformations);
- défauts de surface isolés ou inattendus pouvant surprendre les conducteurs;
- accumulation d'eau ou de débris attribuables à des déformations de la chaussée.

Mesurer au besoin la profondeur d'orniérage.

Mesures possibles



RÉFÉRENCES

America Association of State Highway and Transportation Officials (1990) *A Policy on geometric design of highways and streets*, Washington, DC.

Ali, A.A., Al-Mahrooqi R., Al-Mammari M. et Al-Hinai N. (1999) *Measurement, analysis, evaluation and restoration of skid resistance on the streets of muscat*, Transportation Research Board, 78th Annual Meeting, Washington, DC.

Al-Masaeid, H.R. (1997) *Impact of pavement condition on rural road accidents*, Canadian Journal of Civil Engineering, V24, N4, pp. 523-531.

ASTM (1987) *Standard definitions of terms relating to travelled surface characteristics*, E867-87, ASTM, Philadelphia, PA-USA.

Carlson, P.J. et Mason, J.M. (1999) *Relationships between ball bank indicator readings, lateral acceleration rates, and vehicular body-roll rates*, Transportation Research Board, 78th Annual Meeting, Washington, DC.

Cleveland, D.E. (1987) *Effect of resurfacing on highway safety*, dans *Relationship between safety and key highway features. A synthesis of prior research, State of the art report 6*, pp. 78-95, Transportation Research Board, Washington, DC., 1987.

Comité technique AIPCR des caractéristiques de surface (1995) *'Rapport du Comité technique des caractéristiques de surface' XX^e congrès mondial de la route*, AIPCR/PIARC, Montréal

Commission of the European Union (1996) *Intersafe – Technical guide on road safety for interurban roads*, Brussels

Delanne, D. et Travert, P. (1997) *Accident rates and road surface skidding properties : A literature strategy*. 30th International symposium on automotive technology & automation, Italy.

Department for Transport, Local Government and the Regions : London (2001) *A road safety good practice guide*, First Edition. U.K.

(http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_rdsafety/documents/page/dft_rdsafety_50456406.hcsp).

Fambro, D.B., Fitzpatrick, K. et Koppa, R.J. (1997) *Determination of stopping sight distances*, NCHRP Report 400, Transportation Research Board, Washington, DC.

Farber, E., Janoff, M.S., Cristinzio, S., Bluebaugh, J.G, Reisener, W. et Dunning, W. (1974) *Determining pavement skid resistance requirements at intersections and braking sites*, NCHRP Report No 154, Transportation Research Board, Washington, DC.

Fricke, L.B. (1990) *Traffic accident reconstruction, Volume 2 of The traffic accident investigation manual*, Northwestern University Traffic Institute, Evanston, Illinois.

Gothié, M. (1990) *Relations entre accidents et adhérence CFT/SCRIM*, compte rendu de recherches no 102449, Lyon, France

Harwood, D.W., Mason, J.M., Glauz, W.D., Kulakowski, B.T. et Fitzpatrick, K. (1989) *Truck characteristics for use in highway design and operation*, Volume I, Research report, FHWA RD-89-226

Harwood, D.W., Fambro, D.B., Fishburn, B., Joubert, H., Lamm, R. et Psarianos, B. (1995) *International sight distance design practices*, International symposium on highway geometric design practices, Transportation Research Board, Boston, Massachusetts.

Hauer, E., Terry, D. et Griffith, M.S. (1994) *Effect of resurfacing on safety of two-lane rural roads in New-York State*, Transportation Research Record 1467, Transportation Research Board, Washington, DC.

Hughes, L.M., McGee, H.W. et Hauer, E. (2001) *Impacts of resurfacing projects with and without additional safety improvements*, Research Results Digest Number 255, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC.

(http://gulliver.trb.org/publications/nchrp/nchrp_rrd_255.pdf).

- Krammes, R.A. et Garnham, M.A. (1995)** *Worldwide review of alignment design policies*, International symposium on highway geometric design practices, Transportation Research Board, Boston, Massachusetts.
- Leu, M.C. et Henry, J.J. (1978)** *Prediction of skid resistance as a function of speed from pavement texture measurements*, Transportation Research Record 666, Transportation Research Board, Washington, DC.
- OCDE (1984)** *Caractéristiques de surface de revêtements routiers : leur interaction et leur optimisation*, Paris
- Olson, P.L., Cleveland, D.E., Fancher, P.S., Kostyniuk, L.P. et Schneider, L.W. (1984)** *Parameters affecting stopping sight distance*, NCHRP Report 270, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Page, B.G. et Butas, L.F. (1986)** *Evaluation of friction requirements for California state highways in terms of highway geometrics*, Report FHWA/CA/TL-86-01, Office of Transportation Laboratory, California Department of Transport.
- Sayers, M.W., Gillespie, T.D. et Paterson, W.D.O. (1986)** *Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements*, Technical Paper Number 46, The World Bank, Washington DC.
- Schanderson, R. (1994)** *Road pavement condition and traffic safety*, Some results and conclusions from the Nordic project TOVE, VTI sartryck, Nr 231, Swedish Road and Transport Research Institute.
- Shah, V.R. et Henry, J.J. (1978)** *Determination of skid resistance-speed behaviour and side force coefficients of pavements*. Transportation Research Record 666, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Start, M.R., Kim, J., et Berg, W.D. (1995)** *Development of safety-based guidelines for treatment of pavement rutting*, dans *Proceeding of the Conference Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program (SHRP)*, Prague, the Czech Republic, September 20-22, 1995, No 4A, Part 5, pp. 79-98. Linköping, Swedish National Road and Transport Research Institute, 1996.
- Wambold, J.C., Antle, C.F., Henry, J.J. et Rado, A. (1995)** *Expérience internationale AIPCR de comparaison et d'harmonisation des mesures d'adhérence et de texture*, Comité technique AIPCR des caractéristiques de surface.

ANNEXE SR-1

Coefficients de frottement (conception)

Tableau SR-A1 Coefficients de frottement longitudinal (f_l)

		VITESSE DE CONCEPTION (km/h)									
Pays		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Afrique de Sud	voitures	0,42	0,38	0,35	0,32	-	0,30	-	0,29	-	0,28
	vehicules lourds	0,28	0,25	0,23	0,23	-	-	-	-	-	-
Allemagne		0,51	0,46	0,41	0,36	0,32	0,29	0,25	0,23	0,21	0,19
Australie		-	-	0,52	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35
Autriche		0,44	0,39	0,35	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16
États-Unis		0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28
France		-	0,37	-	0,37	-	0,33	-	0,30	-	0,27
Grèce		0,46	0,42	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
Suède		0,46	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,33	0,32	0,30	-
Suisse		-	0,43	0,37	0,33	0,29	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22

Source : Harwood et al. 1995

Tableau SR-A2 Coefficients de frottement transversal (f_t)

		VITESSE DE CONCEPTION (km/h)							
Pays		50	60	70	80	90	100	110	120
Afrique du Sud		0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11
Allemagne		-	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	-	0,07
Australie		0,35	0,33	0,31	0,26	0,18	0,12	0,12	0,11
Autriche		-	0,16	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10
Belgique		-	0,14	-	-	0,10	-	-	0,07
Canada		0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,09
Espagne		-	-	0,08	-	-	0,10	-	0,10
États-Unis		0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09
France		-	0,17	-	0,14	-	0,12	-	-
Grèce		0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09
Italie		-	0,17	-	-	-	0,13	-	0,10
Japon		0,10	0,09	-	0,08	-	0,07	-	0,06
Luxembourg		-	0,17	0,16	0,17	0,13	0,15	0,12	0,12
Norvège		0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07
Pays-Bas		-	0,15	0,15	-	-	0,12	-	0,08
Portugal		-	0,16	0,13	0,12	-	0,09	-	0,08
Royaume-Uni		0,10	0,10	0,10	-	-	0,10	-	0,10
Suède		0,18	-	0,15	-	0,12	-	0,10	-
Suisse		0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10

Source : Krammes and Garnham, 1995

FACTEURS HUMAINS

Fiche technique

H.-J. Vollpracht et Dr. S. Birth

FACTEURS HUMAINS

Fiche technique

	Page
INTRODUCTION	424
PRINCIPES GÉNÉRAUX	424
→ Éléments clés du système de transport routier	424
→ Prévention des accidents	425
→ Rôle de l'humain dans les accidents routiers	425
PRINCIPAUX FACTEURS HUMAINS	426
→ Tension et charge de travail	426
→ Perception	427
→ Suivi de la voie	431
→ Choix de la vitesse	432
→ Orientation et anticipation	434
CONCLUSION	440
RÉFÉRENCES	441

LISTE DES FIGURES

Figure FH-1	Les éléments clés du système de transport routier	424
Figure FH-2	Exemple – Processus en plusieurs étapes menant à un accident	425
Figure FH-3	Exemple – Deux résultats pour une même situation	425
Figure FH-4	Loi de Yerkes – Dodson	426
Figure FH-5	Exemple – Charge de travail insuffisante	426
Figure FH-6	Exemple – Information excessive	426
Figure FH-7	Le processus de perception	427
Figure FH-8	Illusions d'optique – Largeur de la voie	427
Figure FH-9	Illusion d'optique – Rangée d'arbres	428
Figure FH-10	Illusions d'optique – Combinaisons de courbes horizontales et verticales	428
Figure FH-11	Exemple – Contraste faible entre l'avant-plan et l'arrière-plan	429
Figure FH-12	Amélioration du contraste de panneaux de signalisation	429
Figure FH-13	Sensibilité aux couleurs (jour et nuit)	429
Figure FH-14	Panneaux de signalisation – Autoroute allemande	429
Figure FH-15	Bandes rugueuses	430
Figure FH-16	Trajectoire optimale et réelle	431
Figure FH-17	Exemple – Amélioration des lignes d'orientation	431
Figure FH-18	Vitesse et distance focale	432
Figure FH-19	Vitesse et vision périphérique	432
Figure FH-20	Exemple – Réduction des distances focales	433
Figure FH-21	Erreurs d'évaluation – Vitesse et distance	433
Figure FH-22	Exemple – Amélioration à une intersection	434
Figure FH-23	Catégories de routes – Bons exemples	435
Figure FH-24	Zone de transition	436
Figure FH-25	Exemple – Transitions aux abords de courbes horizontales	436
Figure FH-26	Exemple – Mauvaise transition – Courbe horizontale et intersection	437
Figure FH-27	Exemple – Mauvaise transition – Courbe horizontale et intersection	437
Figure FH-28	Exemple – Mauvaise transition en courbe horizontale	437
Figure FH-29	Exemple – Zone de transition	438
Figure FH-30	Exemples – Bonnes transitions entre milieu rural et urbain	438
Figure FH-31	Exemple – Amélioration à l'approche d'une intersection	439
Figure FH-32	Exemple – Bonne transition à l'approche d'une intersection	439

LISTE DES TABLEAUX

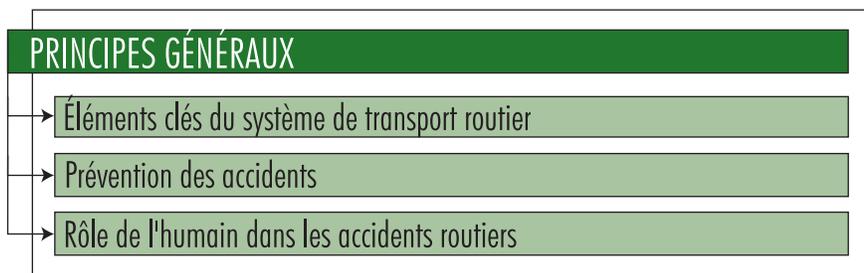
Tableau FH-1	Impact de la densité de la lumière et du contraste sur le temps de perception	430
Tableau FH-2	Temps de réaction et type de signal	430
Tableau FH-3a	Capacité visuelle et âge (point de fixation)	430
Tableau FH-3b	Capacité visuelle et âge (détection des couleurs)	430
Tableau FH-4	Champ de vision	433

INTRODUCTION

Cette fiche technique est le fruit du travail de membres du comité de sécurité routière de l'AIPCR qui, assistés de psychologues allemands, ont analysé 470 études expérimentales sur la perception, le traitement de l'information et les autres processus mentaux qui influencent les performances des conducteurs.

La première partie traite des facteurs humains et de la conception des routes en général. La seconde approfondit le rôle de cinq facteurs humains qui influencent la conduite au volant.

PRINCIPES GÉNÉRAUX



ÉLÉMENTS CLÉS DU SYSTÈME DE TRANSPORT ROUTIER

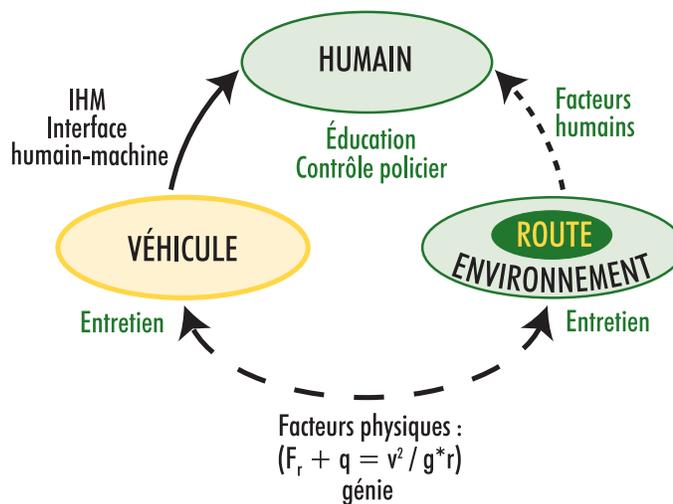
Le système de transport routier peut être représenté comme un triangle composé de trois éléments clés, soit l'utilisateur de la route (humain), le véhicule et les caractéristiques de la route (figure FH-1). Chacun de ces éléments peut individuellement contribuer aux accidents. Néanmoins, ceux-ci résultent le plus souvent de combinaisons et d'interactions complexes entre ces éléments :

- interactions entre les véhicules et la route, qui sont décrites dans les manuels de normes techniques utilisés par les ingénieurs routiers;
- interactions entre les usagers et le véhicule (interface humain-machine). Les besoins ergonomiques des conducteurs et des passagers sont pris en compte par l'industrie automobile;
- interactions entre les usagers et la route, qui relèvent des spécialistes des facteurs humains. Ces interactions sont souvent mal précisées dans les manuels de normes techniques existants.

De façon souhaitable, les capacités et limites physiologiques et psychologiques de l'être humain devraient être considérées à la base des projets de génie routier.

Les concepteurs routiers devraient se demander pourquoi des points noirs peuvent apparaître après la réalisation de projets pourtant conformes aux plus récentes normes. Ils doivent reconnaître que l'être humain n'est pas infaillible mais qu'il peut commettre des fautes pour toutes sortes de raisons, dont certaines sont liées à l'application des principes de conception qui entrent en conflit avec les perceptions des conducteurs.

Figure FH-1 Les éléments clés du système de transport routier



Source : Vollpracht et Birth, 2002

PRÉVENTION DES ACCIDENTS

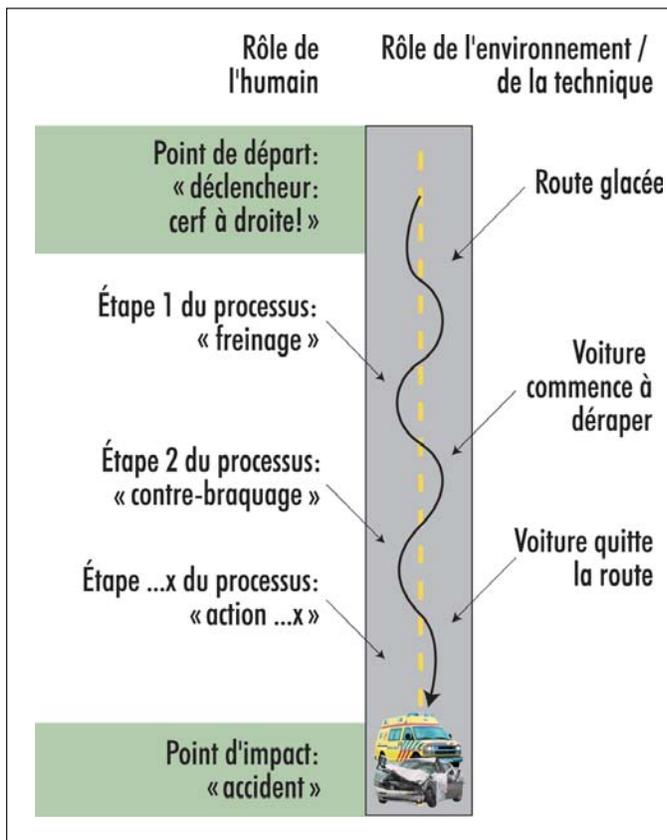
Les facteurs humains, c'est bien connu, ont une très grande influence sur la sécurité de systèmes techniques. Depuis 1970, de nombreuses normes de conception ont été mises au point pour prévenir l'erreur humaine dans des domaines techniques comme l'électroménager, l'industrie, l'aviation et la fabrication des véhicules. Mais les concepteurs de routes comprennent-ils vraiment ce qui se passe dans la tête d'une personne assise au volant d'un véhicule?

La construction routière est le domaine des ingénieurs. La détermination des besoins des usagers de la route est le domaine des psychologues. L'écart qui existe entre ces deux professions doit être comblé si l'on veut concevoir des routes qui parlent d'elles-mêmes et qui ont les caractéristiques requises pour réduire de manière efficace les erreurs de conduite et les accidents. Les normes en matière d'ingénierie routière devraient reposer sur le comportement, les capacités et les limites de l'être humain.

RÔLE DE L'HUMAIN DANS LES ACCIDENTS ROUTIERS

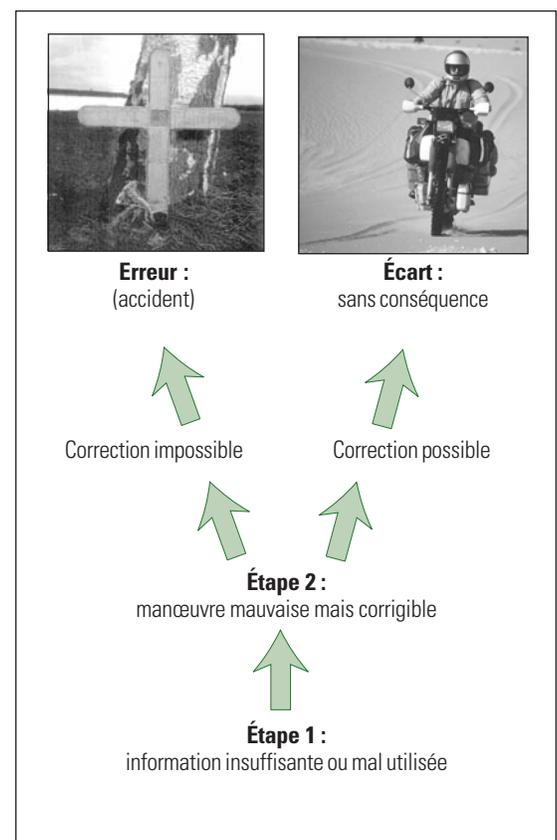
Un accident de la route est en général le résultat d'un processus en plusieurs étapes (figure FH-2). En modifiant les actions qui sont effectuées à l'une ou l'autre de ces étapes, il est parfois possible d'éviter un accident (figure FH-3). Les spécialistes des facteurs humains essaient de comprendre la contribution de l'humain dans un accident afin de proposer des solutions qui briseront la chaîne d'étapes aboutissant à l'accident. Pour comprendre ces événements, il faut amorcer l'analyse au point de départ (et non seulement au point d'impact).

Figure FH-2 Exemple – Processus en plusieurs étapes menant à un accident



Source : Sporbeck et al., 2002

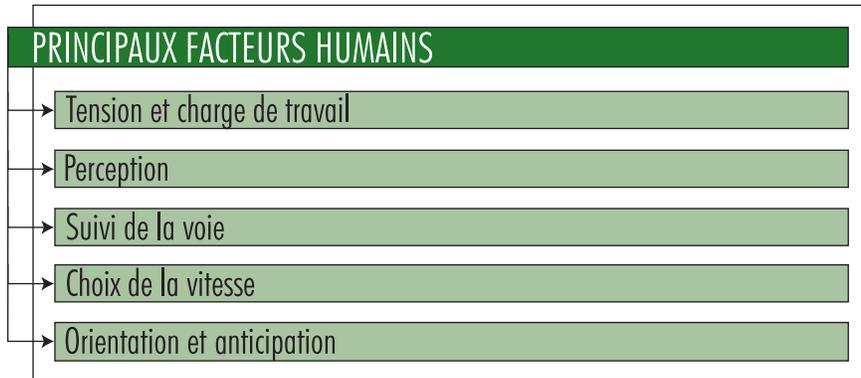
Figure FH-3 Exemple – Deux résultats pour une même situation



Comme l'être humain commet des erreurs, il faut concevoir des routes qui « pardonnent ».

Source : Vollpracht et Birth, 2002

PRINCIPAUX FACTEURS HUMAINS



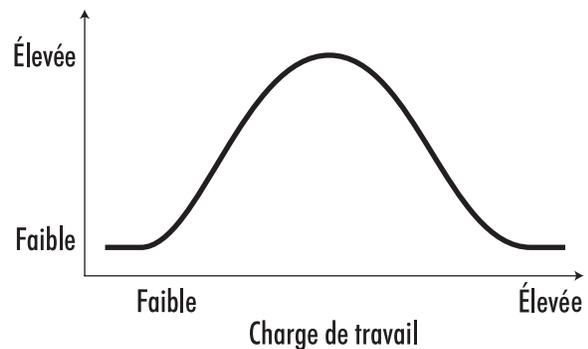
TENSION ET CHARGE DE TRAVAIL

Loi de Yerkes-Dodson

La qualité de la conduite est influencée par la charge de travail (loi de Yerkes-Dodson). Des erreurs de conduite peuvent survenir lorsque le niveau d'information est insuffisant ou excessif. La qualité de la conduite est maximale lorsque la charge d'information est modérée (figures FH-4, FH-5, FH6).

Figure FH-4 Loi de Yerkes – Dodson

Qualité du rendement



Source : Birth, 2000 selon Hacker, 1984

Figure FH-5 Exemple – Charge de travail insuffisante



Source : Birth, 2002

Quand l'information est insuffisante, l'attention et le niveau d'éveil du conducteur diminuent. Certains conducteurs peuvent compenser en roulant plus vite. Pour réduire la monotonie de l'environnement routier, des modifications peuvent être apportées au tracé de la route, au marquage, aux aménagements paysagers, etc.

Figure FH-6 Exemple – Information excessive



Source : Vollpracht, 2002

Les capacités de traitement de l'information de l'être humain sont limitées. Le nombre de bits d'information qu'il peut traiter simultanément est de 7 ± 2 . Les ingénieurs routiers doivent éviter de multiplier les informations critiques à un même endroit.

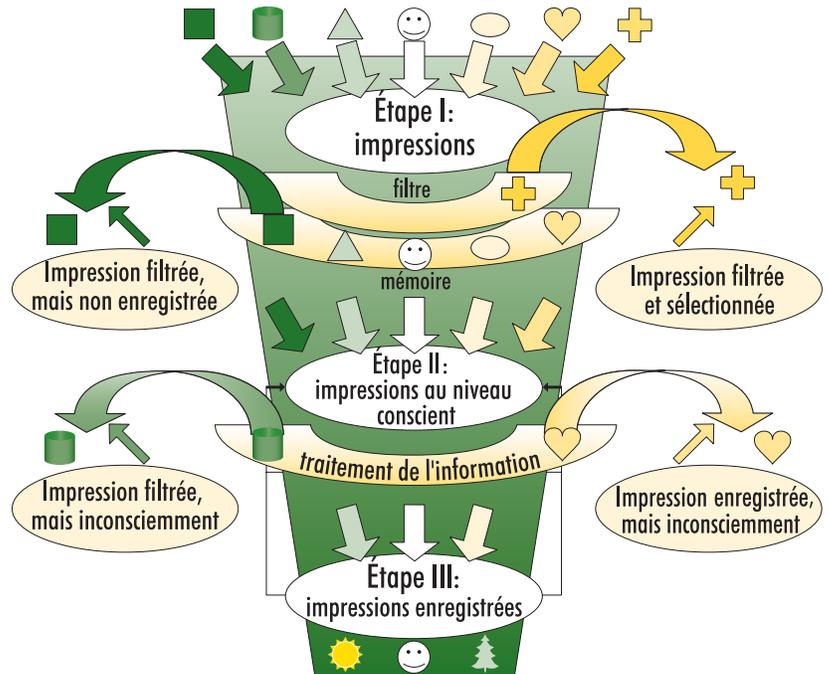
PERCEPTION

L'être humain ne peut traiter qu'une faible proportion des stimuli que lui renvoie l'environnement routier. Ce qu'il perçoit est filtré, sélectionné, condensé (figure FH-7).

Plusieurs facteurs influencent la perception, y compris :

- **illusions d'optique;**
- **contraste et les conditions d'éclaircissement;**
- **indices sonores/visuels;**
- **âge (besoins des personnes âgées).**

Figure FH-7 Le processus de perception



Source : Birth, 2000 selon Goldstein, 1997

Illusions d'optique

Diverses illusions d'optique peuvent biaiser les estimations de vitesse, distance, direction, largeur de la voie, rayon d'une courbe, etc.

- **Illusion – largeur de la voie**

La convergence de lignes d'orientation nuit à l'évaluation de la taille des objets, dont la largeur de la voie par exemple (figure FH-8).

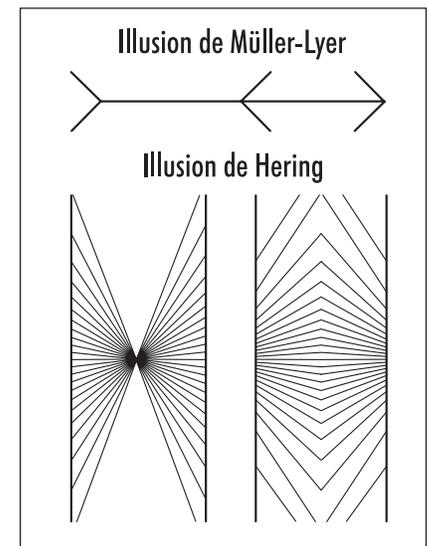
- **Illusion – distance**

La convergence des lignes d'orientation peut aussi nuire au jugement des distances. Ainsi, dans la **figure FH-9**, la convergence de la ligne d'arbres a les effets suivants :

- la distance jusqu'à la courbe semble plus longue qu'elle ne l'est en réalité (la convergence accroît la perception de profondeur);
- la distance entre la route et les arbres est surévaluée;
- le conducteur arrive à la courbe plus tôt que prévu, ce qui peut entraîner un survirage.

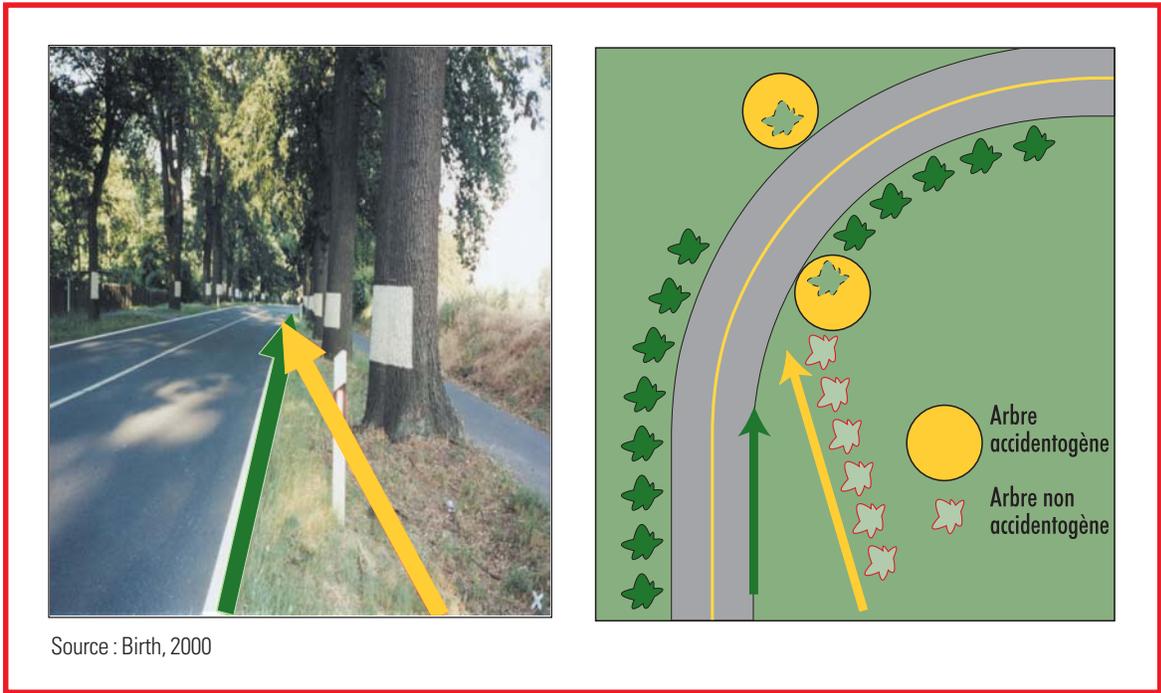
Il faut en conséquence éviter les lignes d'orientation convergentes (marquage, bordure de route, rangée d'arbres ou de poteaux, barrières de sécurité).

Figure FH-8 Illusions d'optique
Largeur de la voie



Source : Goldstein, 1997

Figure FH-9 Illusion d'optique – Rangée d'arbres

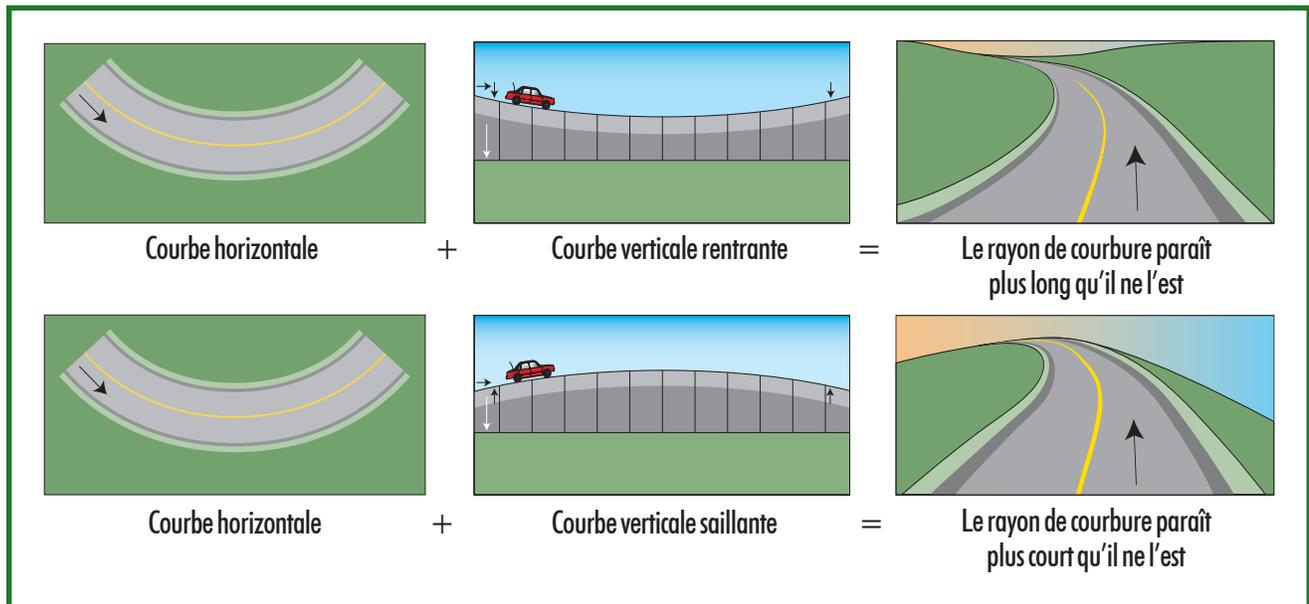


• **Illusion – Rayon de la courbe**

Une combinaison de courbe horizontale et courbe verticale rentrante laisse croire que le rayon de la première est plus grand qu'il ne l'est en réalité. Le conducteur qui se prépare à manœuvrer en fonction d'un large rayon est soudainement obligé de ralentir et de corriger sa trajectoire à l'approche de la courbe. Il s'agit d'une situation accidentogène qu'il vaut mieux éviter.

À l'inverse, une combinaison de courbe horizontale et courbe verticale saillante laisse croire que le rayon est plus serré qu'il ne l'est en réalité. Cette situation est beaucoup plus sécuritaire (figure FH-10).

Figure FH-10 Illusions d'optique – Combinaisons de courbes horizontales et verticales



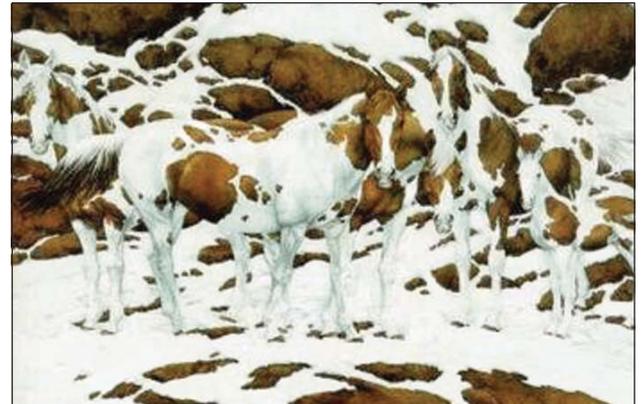
Contraste – Conditions d'éclairage

Problème d'arrière-plan

Il est essentiel de pouvoir distinguer l'information d'avant-plan et d'arrière-plan afin de détecter les panneaux de signalisation et les équipements de sécurité (figures FH-11, FH-12).

Les ingénieurs routiers doivent s'assurer que le niveau de contraste entre les caractéristiques de la route et leur arrière-plan est suffisant en tout temps (variations saisonnières, lever et coucher de soleil, nuit, etc.) (figure FH-13, FH-14).

Figure FH-11 Exemple – Contraste faible entre l'avant-plan et l'arrière-plan



Source : Goldstein

Figure FH-12 Amélioration du contraste de panneaux de signalisation



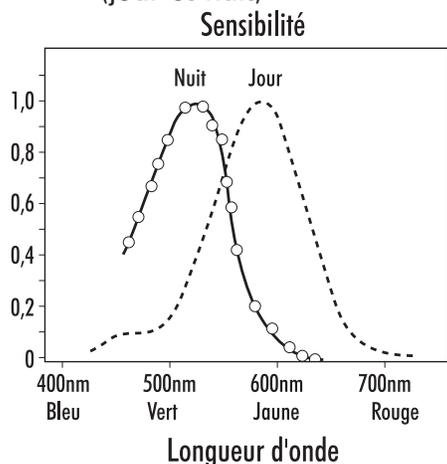
Contraste insuffisant entre les panneaux de la courbe et leur arrière-plan.

Source : Birth

Le jaune augmente la visibilité des panneaux.

Source : Wartmann

Figure FH-13 Sensibilité aux couleurs (jour et nuit)



La nuit, le bleu et le vert se voient mieux que le rouge.

Source : Goldstein, 1997

Figure FH-14 Panneaux de signalisation Autoroute allemande



La combinaison bleu et blanc des panneaux de signalisation se voit facilement de jour comme de nuit.

Source : VSVI

Densité de la lumière et contraste

Une grande densité de lumière et un contraste élevé accélèrent les temps de réaction (tableau FH-1). Au niveau des surfaces de roulement, il y a corrélation entre densité de lumière modérée et plus faible fréquence d'accidents.

Luminosité

Des changements rapides de luminosité créent un effet stroboscopique susceptible de gêner la vision et la perception du conducteur. On évitera donc les conditions routières susceptibles d'engendrer de tels effets.

Indices sonores et visuels

Le temps de réaction dépend de la nature du message. Le conducteur réagit plus rapidement à un signal sonore qu'à un signal visuel (tableau FH-2) :

Il réagit aussi plus rapidement à une combinaison de signaux sonores et visuels qu'à un signal unique.

Les bandes rugueuses sont très efficaces pour avertir un conducteur qu'il quitte la voie de circulation. Les études montrent qu'elles peuvent réduire jusqu'à 30 % des sorties de route (figure FH-15).

Tableau FH-1 Impact de la densité de la lumière et du contraste sur le temps de perception

CONTRASTE	DENSITÉ DE LUMIÈRE	PERCEPTION
1:4	10 cd / m ²	20 ms
	60 cd / m ²	10 ms
1:6	10 cd / m ²	15 ms
	120 cd / m ²	5 ms
1:26	10 cd / m ²	10 ms
	250 cd / m ²	3 ms

Tableau FH-2 Temps de réaction et type de signal

SIGNAL	TEMPS DE RÉACTION (ms)
SONORE	150
VISUEL	200

Figure FH-15 Bandes rugueuses



Source : Ministère des Transports du Québec

Besoins des personnes âgées

Les besoins des conducteurs plus âgés doivent être pris en compte à l'étape de la conception car :

- leurs temps de réaction sont plus longs;
- leurs capacités psychomotrices sont réduites;
- leurs capacités visuelles sont réduites (tableau FH-3a, FH-3b) :
 - acuité visuelle;
 - sensibilité aux contrastes;
 - perception des objets en mouvement.
 - champ de vision latéral;
 - susceptibilité à l'éblouissement;

Tableau FH-3a Capacité visuelle et âge (point de fixation)

ÂGE	POINT DE FIXATION CRITIQUE DES LETTRES / SIGNAUX (cm)
< 40	23
< 50	40
< 60	100
< 70	400

Source : Goldstein, 1997

Tableau FH-3b Capacité visuelle et âge (détection des couleurs)

ÂGE	SEUIL DE VISIBILITÉ DE LA LUMIÈRE LONGUEUR D'ONDE (NM)
< 34	300
34 - 43	313
43 - 67	350
> 67	400+

On ne perçoit plus le violet foncé lorsqu'on avance en âge

SUIVI DE LA VOIE

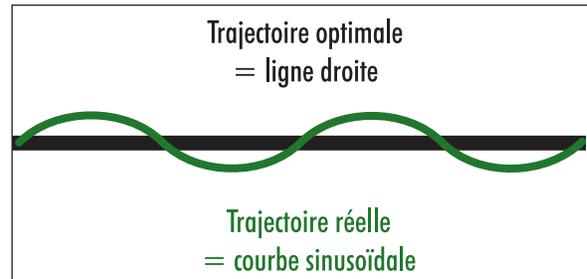
La trajectoire optimale d'un véhicule est au centre de la voie et non à sa gauche ou à sa droite.

Toutefois, l'usager de la route – conducteur, cycliste, piéton – ne peut se déplacer en ligne droite. La trajectoire réelle est une ligne sinusoïdale (figure FH-16).

Plusieurs facteurs influencent la capacité du conducteur à bien suivre la voie, dont (d'après Cohen 1984, dans Schlag 1997) :

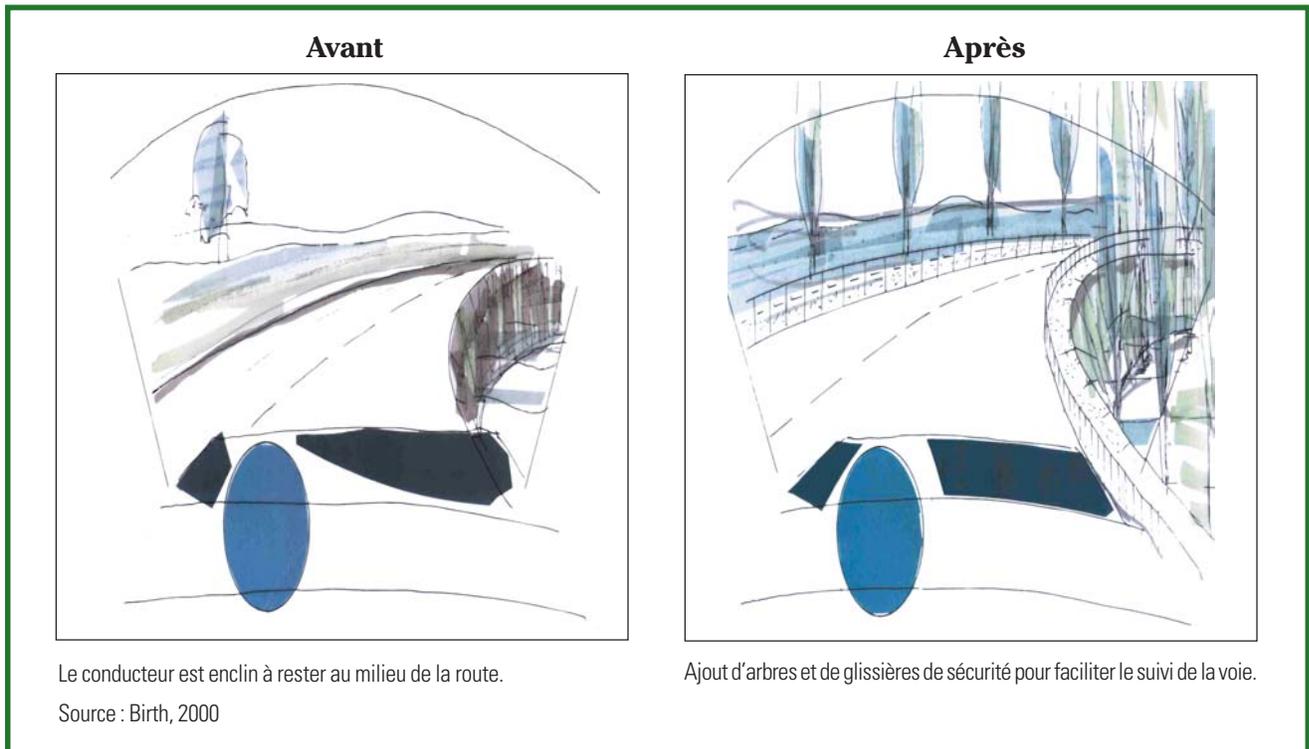
- la hauteur relative de la surface de roulement (phénomène de la poutre d'équilibre) :
plus la chaussée est haute par rapport aux abords (p. ex. pont, talus), plus le conducteur a de la difficulté à bien suivre la voie car il est enclin à se tenir au milieu de la route.
- la qualité des lignes d'orientation :
des lignes d'orientation continues et bien contrastées (p. ex. marquage, glissières de sécurité, rangées d'arbres, murs) aident le conducteur à suivre la voie (figure FH-17). Si les difficultés de suivi de la voie surviennent principalement la nuit, il faut vérifier l'état du marquage, l'éclairage de la route et les dispositifs de délinéation.
- des caractéristiques routières qui exigent des changements de vitesse soudains :
le déplacement latéral du véhicule augmente quand le conducteur est forcé de ralentir soudainement (p. ex. courbe raide et inattendue, pente raide, etc.).

Figure FH-16 Trajectoire optimale et réelle



Source : Vollpracht et Birth, 2002

Figure FH-17 Exemple – Amélioration des lignes d'orientation



CHOIX DE LA VITESSE

Plusieurs caractéristiques de l'environnement routier influencent le choix de vitesse d'un conducteur :

état général de la route :

les vitesses sont plus élevées si l'environnement routier donne une sensation générale de confort (alignement généreux, voies larges, surface de roulement unie, abords de route dégagés, faible possibilité de conflits de circulation, etc.).

contraste :

plus les contrastes sont faibles, (pluie, brouillard), plus il est difficile d'évaluer les vitesses et les distances (le conducteur sous-évalue sa vitesse).

distance focale :

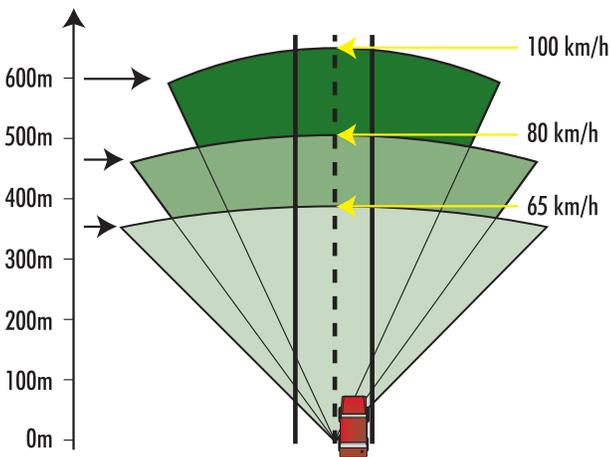
plus elle est éloignée, plus les vitesses sont élevées.

Distance focale, vision périphérique

Il y a une relation entre la distance focale et la vitesse (figure FH-18). Si les vitesses doivent demeurer basses (p. ex. en milieu résidentiel), les routes doivent être conçues de façon à éviter de longues distances focales (*figure FH-20*).

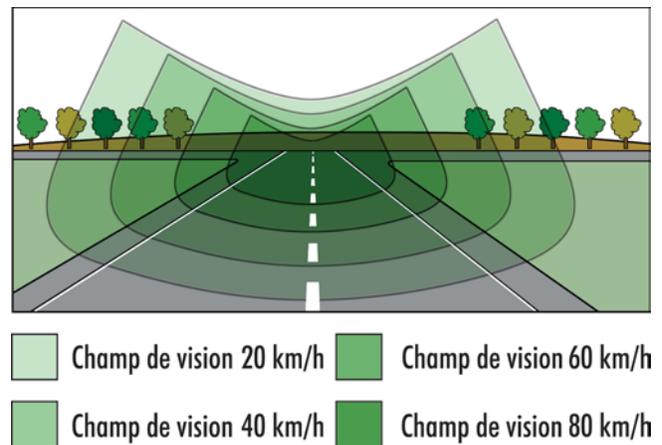
À mesure que la vitesse augmente, le champ de vision périphérique diminue (figure FH-19). Ce qui doit donc être pris en considération lors du choix de l'emplacement latéral des panneaux de signalisation sur les abords de route. Il faut en contrepartie s'assurer que les supports de ces panneaux ne constituent pas en soi des éléments hasardeux.

Figure FH-18 Vitesse et distance focale



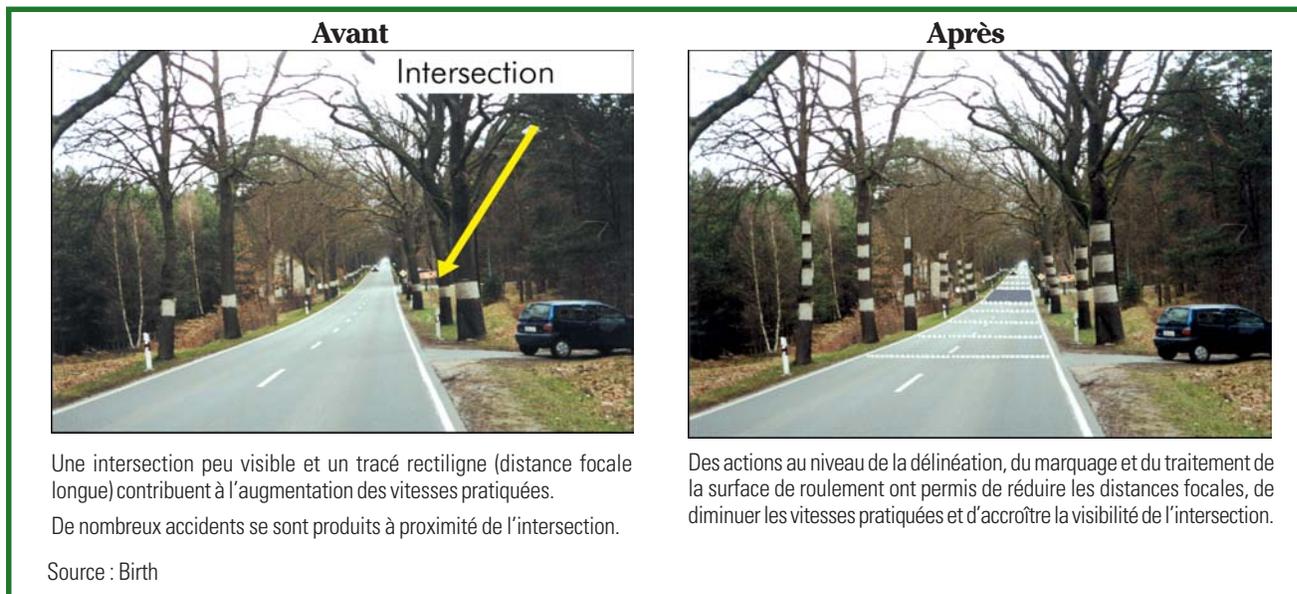
Basé sur Cohen, 1984)

Figure FH-19 Vitesse et vision périphérique



Basé sur Leutzbach et Papavasiliou, 1988

Figure FH-20 Exemple - Réduction des distances focales



La largeur du champ de vision d'un conducteur est influencée par son expérience de conduite et par la nature de l'environnement routier (urbain ou rural) (tableau FH-4).

Les angles de vision optimaux sont :

verticalement : 20° vers le haut et 60° vers le bas

horizontalement : 15-20°

EXPÉRIENCE DU CONDUCTEUR	TYPE DE ROUTE	ÉTENDUE DU CHAMP VISUEL		
		VERTICAL	HORIZONTAL (100 m)	HORIZONTAL (200 m)
EXPÉRIMENTÉ	VILLE	≤ 5°	9 m	18 m
	RURAL	9° - 10°	18,5 m	37 m
INEXPÉRIMENTÉ	VILLE	≤ 5°	9 m	18 m
	RURAL	6° - 7°	13 m	26 m

Source : Cohen, 1984; Theeuwes, 1995

Évaluation de la vitesse

Les conducteurs ont de la difficulté à évaluer les vitesses et les distances. Il faut donc leur fournir des indices suffisants pour les assister dans cette tâche (figure FH-21, FH-22).

Figure FH-21 Erreurs d'évaluation – Vitesse et distance

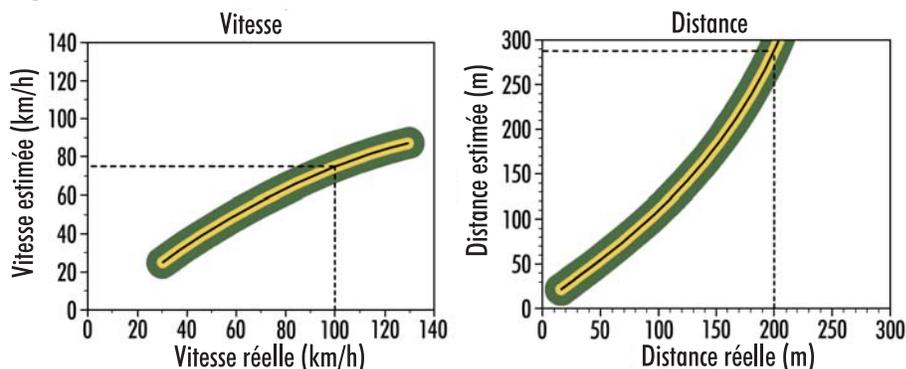
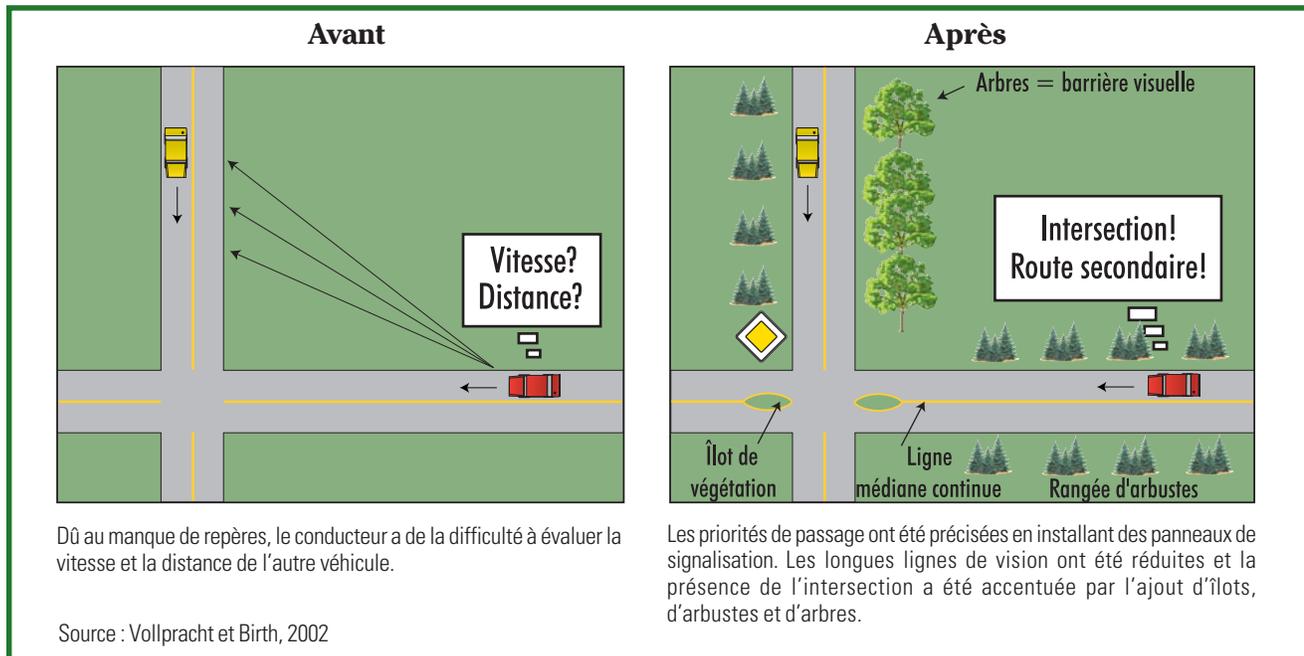


Figure FH-22 Exemple – Amélioration à une intersection



ORIENTATION ET ANTICIPATION

L'orientation réfère ici au niveau de conscience et de perception des relations spatiales en cours de conduite. Où-suis-je? Est-ce que je suis dans la bonne voie? Où vais-je? Qui est en mouvement et qui est arrêté? Est-ce qu'il va vite ou lentement?

L'anticipation réfère à la recherche active d'information et à l'adoption d'un comportement de conduite après avoir détecté une situation nouvelle.

Pour que l'orientation et l'anticipation soient adéquates, il faut satisfaire deux exigences de base :

- 1) Un bon système de catégorisation des routes;
- 2) Le respect des attentes des conducteurs.

Le système de catégorisation des routes

Pendant son déplacement, le conducteur doit pouvoir reconnaître facilement la fonction principale de la route sur laquelle il circule. S'agit-il d'une route ayant une fonction de mobilité qui devrait permettre l'adoption de vitesses relativement rapides ou encore d'une route d'accès qui exige des vitesses plus faibles?

C'est dire qu'il importe d'établir un réseau bien hiérarchisé, comprenant un nombre limité de catégories – 3 ou 4 au maximum – ayant chacune une fonction spécifique à laquelle correspondent des paramètres de conception qui lui sont propres.

Les conducteurs classent les signaux similaires dans des mêmes groupes et y répondent en adoptant les mêmes comportements de conduite. Plus les caractéristiques d'une catégorie de routes sont claires, plus les réactions sont sûres, rapides et homogènes.

Les concepteurs se doivent d'adopter, pour chacune des catégories d'un système de classification des routes, des caractéristiques qui soient récurrentes et invariables : géométrie, caractéristiques de surface, panneaux de signalisation, etc. De bons exemples sont montrés à la figure FH-23. *L'annexe 6-1* contient des informations plus détaillées sur le sujet.

Figure FH-23 Catégories de routes – Bons exemples



Autoroute ayant des caractéristiques adaptées à sa fonction de mobilité.



Îlot central de grande dimension à l'intention des piétons dans une zone commerçante.



Artères urbaines permettant une bonne séparation des différentes catégories d'utilisateurs : voies larges et bien marquées, pistes cyclables de matériau et couleur distincte et feux de circulation pour piétons.



Rues résidentielles ayant une fonction de desserte évidente.

Source : Höppner



Attentes des conducteurs

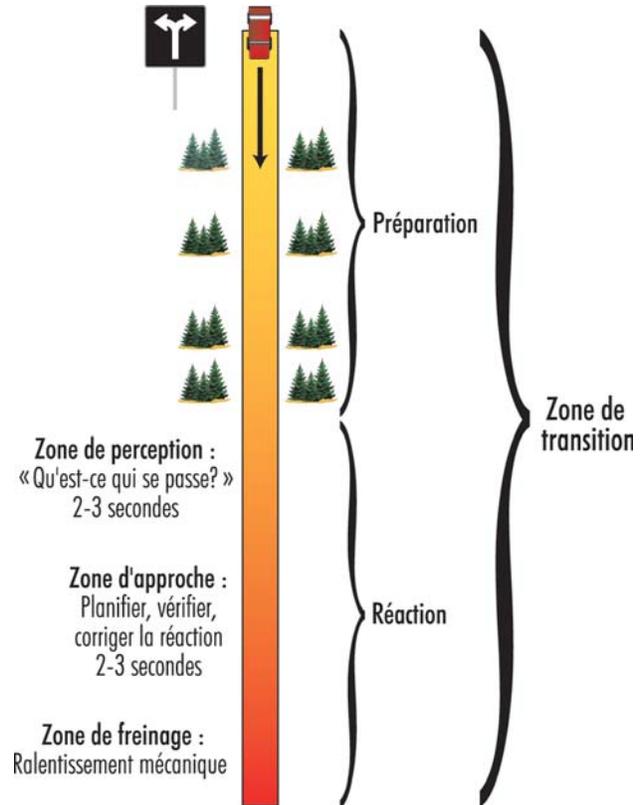
voir aussi l'*annexe 6-1*.

Transition

Pour que le conducteur ait le temps de s'adapter à un changement de conditions routières, il est essentiel de prévoir des zones de transition adéquates (figure FH-25 à FH-28) :

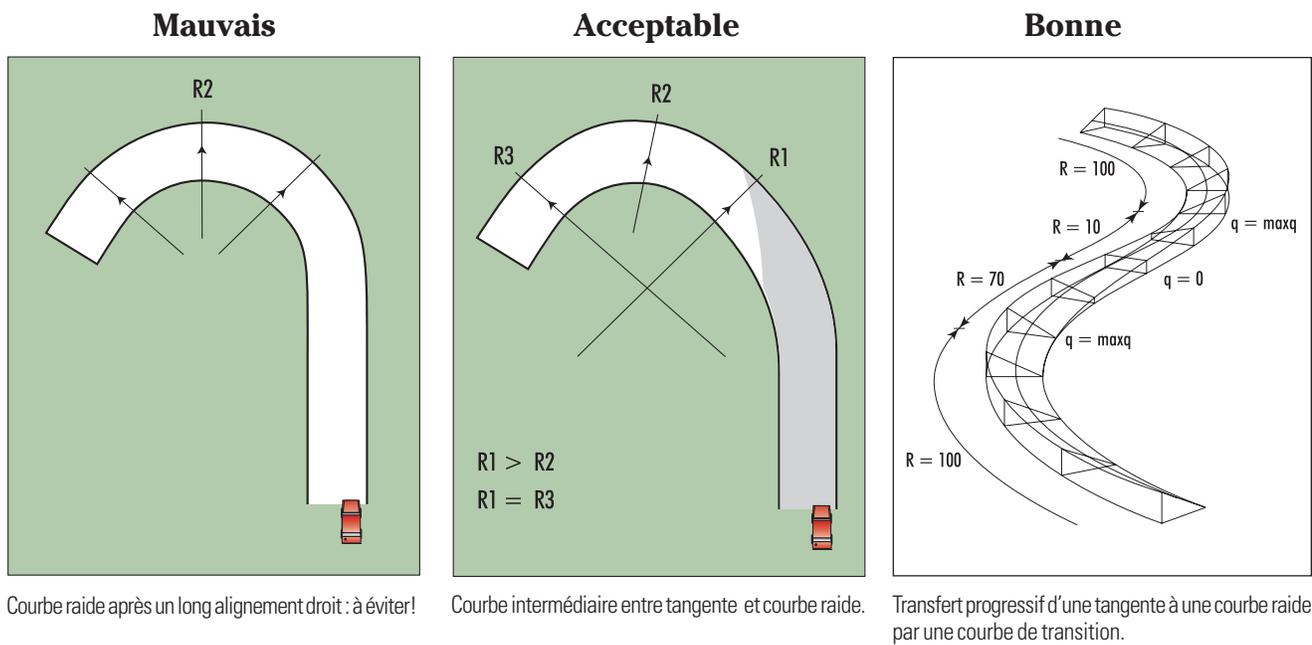
- à l'abord des courbes horizontales;
- aux transitions entre milieu rural et urbain;
- aux intersections;
- lors d'un changement de fonction d'une route;
- lors d'un changement de la vitesse de conception;
- etc.

Figure FH-24 Zone de transition



Source : Sporbeck et al., 2002

Figure HF-25 Exemple – Transitions aux abords de courbes horizontales



Source : Sporbeck et al., 2002

Figure FH-26 Exemple – Mauvaise transition
Courbe horizontale et intersection



La route principale semble continuer tout droit mais elle bifurque à gauche 300 m plus loin. Une route secondaire est située dans la continuité de la route principale.

Recommandations :

- accentuer le côté extérieur du virage (émondage des arbres, délinéation, marquage);
- accroître la visibilité des panneaux de courbe;
- utiliser des bandes sonores, des matériaux de surface distinctifs ou un marquage différent pour réduire la vitesse.

Source : Birth

Figure FH-27 Exemple – Mauvaise transition
Courbe horizontale et intersection

Avant



À cause de l'intersection, la route principale semble continuer tout droit. Le conducteur n'est pas préparé au changement de direction.

Après



L'intersection a été déplacée et on a ajouté un talus et des arbres pour masquer l'ancien tracé.

Source : Sporbeck et al., 2002

Figure FH-28 Exemple – Mauvaise transition en courbe horizontale

Avant

ancienne route secondaire

Arrêt d'autobus



Le panneau de signalisation ne correspond pas au tracé de la route (il suggère un tracé rectiligne). Il y a un arrêt de bus dans la courbe.

Source : Birth, 2000

Après



Le panneau de signalisation a été modifié. Des arbustes ont été ajoutés pour dissimuler la route secondaire. L'arrêt de bus a été déplacé hors de la courbe. Le marquage a été amélioré.

Transition – De la rase campagne à une zone urbaine

Dans une telle zone de transition, l'information transmise au conducteur doit être suffisante pour qu'il ralentisse à une vitesse compatible avec la sécurité. Plusieurs moyens permettent d'obtenir ce résultat (figure FH-29 à FH-31) : déviations dans le tracé en plan (chicanes), rétrécissement de la chaussée (îlot central, marquage, matériau de surface distinctif), plantations, déviations dans le profil en long (dos d'ânes).

Figure FH-29 Exemple – Zone de transition

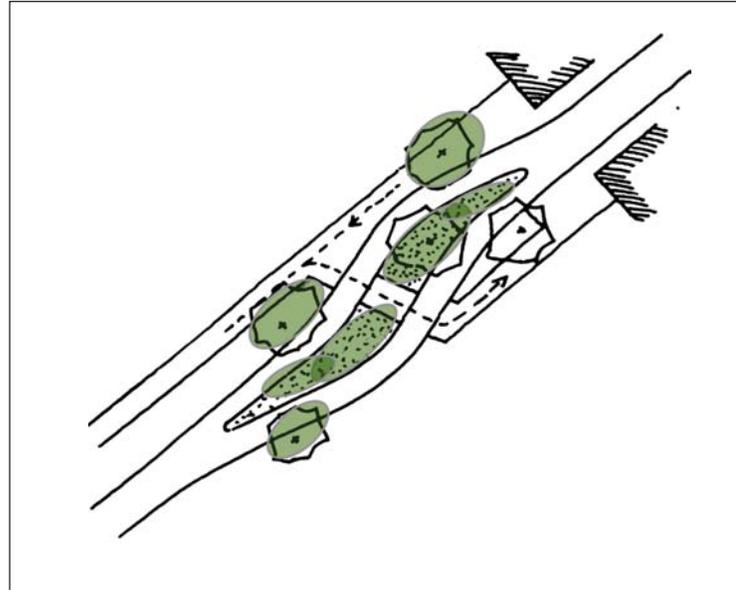


Figure FH-30 Exemples – Bonnes transitions entre milieu rural et urbain



Figure FH-31 Exemple – Amélioration à l’approche d’une intersection



Le conducteur qui circule sur cette route secondaire ne s’attend pas à devoir s’arrêter à une intersection car :

- la présence de l’intersection et le panneau qui l’annonce sont dissimulés par les arbres (jusqu’à 50 m de l’intersection);
- le panneau fait croire au conducteur qu’il se trouve sur la route principale.

Source : Stadt

Avant



Après



Le panneau a été modifié pour montrer clairement aux automobilistes qu’ils circulent sur une approche secondaire de l’intersection. La présence de l’intersection devrait être renforcée par l’usage de matériau de chaussée distinctif, marquage et plantations.

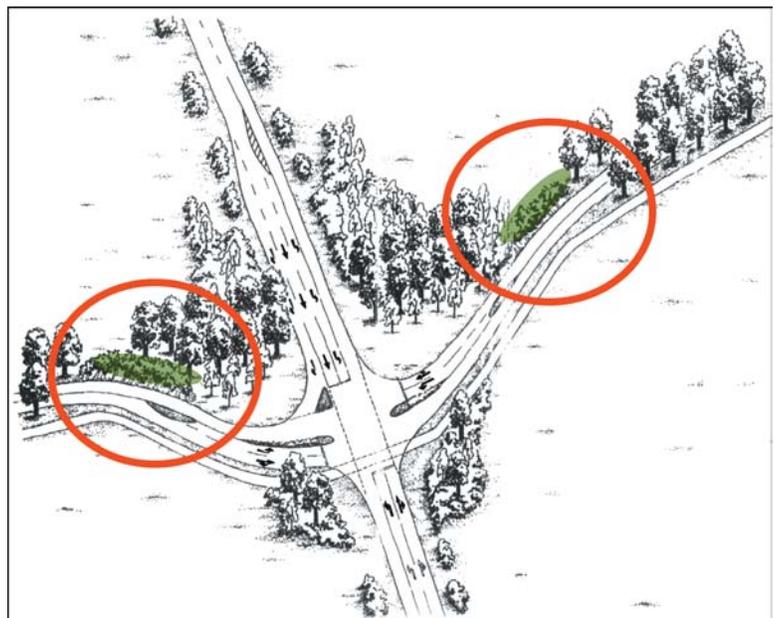
Source : Wenk

L’ouverture d’une nouvelle route avec priorité de passage a entraîné la création d’une nouvelle intersection sur une route existante.

Pour bien informer les usagers qui circulent sur l’ancienne route de la présence de la nouvelle intersection et de la nouvelle obligation d’arrêt, on a prévu, lors de la conception (figure FH-32) :

- une déviation horizontale de part et d’autre de l’intersection pour briser la ligne de continuité, en plaçant (ces déviations sont suffisamment loin de l’intersection pour que les approches adjacentes se croisent à angle droit);
- des plantations ont été aménagées le long de ces déflexions pour masquer les anciennes lignes d’arbres, éviter les possibles confusions d’alignement et avertir le conducteur du changement de direction.

Figure FH-32 Exemple – Bonne transition à l’approche d’une intersection



Source : Sporbeck et al., 2002

CONCLUSION

La possibilité d'erreur ne peut être négligée dans le développement de tout système technique et le système de transport routier ne fait pas exception à cette réalité. Dans le passé, on s'est trop souvent limité à blâmer les conducteurs d'avoir commis une erreur, d'avoir adopté un comportement inadéquat ou d'avoir des aptitudes de conduite limitées. Mais il est maintenant reconnu que les solutions efficaces aux erreurs de conduite nécessitent bien plus que la simple identification d'un « coupable ».

Il importe de réaliser que les mesures qui sont prises au niveau de chacune des composantes de base du système de sécurité (humain, environnement routier et véhicule) de même que celles qui sont prises au niveau des interfaces entre ces composantes (humain et environnement routier notamment), peuvent avoir un impact prépondérant sur la réduction des erreurs humaines et l'occurrence d'accidents.

Les concepteurs routiers doivent en ce sens reconnaître qu'ils peuvent - et doivent - développer des environnements routiers qui sont bien adaptés aux capacités et limites de l'humain. Les progrès récents effectués dans le domaine de la modération de la vitesse montrent bien comment des modifications aux pratiques traditionnelles de planification et de conception routière en milieu urbain, qui s'appuient sur une prise en considération adéquate des perceptions des conducteurs, peuvent avoir un effet positif sur la sécurité des usagers et le bien-être de la population riveraine.

Des progrès sont aussi possibles en milieu rural. En Allemagne, par exemple et dans quelques autres pays européens, les conséquences des sorties de route sont souvent aggravées par la présence de rangées d'arbres le long d'une route. Certaines photos de cette fiche technique montrent bien comment ces arbres peuvent être dangereux lorsqu'ils sont matures. La présence des ces « allées » peut causer jusqu'à cinq fois plus de victimes que sur les routes où elles sont absentes. Lorsque ces arbres sont protégés par la loi, des mesures de sécurité passives - glissières de sécurité par exemple - devraient être utilisées pour aider à créer des routes qui « pardonnent ».

Il importe finalement de reconnaître que l'erreur humaine ne peut être totalement éliminée et qu'elle continuera à se produire - à un rythme moindre - même si les systèmes de transport routier deviennent mieux adaptés à la nature humaine. En conséquence, les ingénieurs doivent concevoir des routes qui minimisent la gravité de telles erreurs. Il s'agit d'une approche d'intervention qui est au cœur de la « *Vision Zéro* » suédoise, un pays ayant l'un des meilleurs bilans en termes de traumatismes routiers.

Dans le futur, il faut souhaiter qu'un plus grand nombre d'éléments permettant de réduire le taux d'occurrence des erreurs humaines ou d'en minimiser les conséquences soit intégré aux normes de conception routière, ce qui conduira à améliorer le niveau de sécurité intrinsèque des réseaux routiers.

RÉFÉRENCES

- Birth, S. (2000)** *Unfallanalyse an der Unfallhäufungsstelle der B1 zwischen Werder und Geltow*. Bericht für das Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr, Abt. 5, Straßenwesen, Straßenverkehr.
- Birth, S. (2002)** *Abschlußbericht zur HF-Unfallanalyse an der Unfallhäufungsstelle der L291 zwischen Eberswalde und Liepe*. Bericht für das Straßenbauamt Eberswalde.
- Cohen, A. S. (1984)** *Einflußgrößen auf das nutzbare Sehfeld*. Bericht zum Forschungsprojekt 8005 der BaSt, Bereich Unfallforschung Nr. 100
- Cohen, A. S., Imholz et J., Siegrist, J. (1997)** *Erforderliche Abweichung zwischen Blick- und Fahrtrichtung für die sichere Fortbewegung beim Befahren von Engpässen*. In: Schlag, B. Fortschritte der Verkehrspsychologie 1996. Deutscher Psychologen Verlag
- Goldstein, E. B. (1997)** *Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akad. Verl.
- Hacker, W. (1984)** *Psychologische Bewertung von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen. Ziele und Bewertungsmaßstäbe*. Berlin: Springer-Verlag.
- Leutzbach, W. et Papavasiliou, V. (1988)** *Wahrnehmungsbedingungen und sicheres Verhalten im Straßenverkehr: Wahrnehmung in konkreten Verkehrssituationen*. Bericht zum Forschungsprojekt 8306 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Nr. 177
- Schlag, B. (1997)** *Fortschritte der Verkehrspsychologie 1996: Kongreßbericht / 36. Kongreß für Verkehrspsychologie des Berufsverbandes Deutscher Psychologinnen und Psychologen in Dresden*. Bonn: Dt. Psychologen-Verlag
- Sporbeck, O., Stauff, M., Bielenberg, H., Birth, S. et Stadt, H. (2002)** *Hinweise zur Verkehrslenkung und optischen Orientierung durch Bepflanzung (HVO) an Bundes- und Landesstraßen (außerorts) im Land Brandenburg*. Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr
- Theeuwes, J. (1995)** *Visuelles Orientierungsverhalten an Kreuzungen*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 41 (4), S. 151-156
- Vollpracht, H.-J. et Birth, S. (2002)** *Human Factors in Road System Design*. PIARC Seminar "Management of Road Safety", Bangkok, Thailand.

INTERSECTIONS

Fiche technique

Sandro Rocci

INTERSECTION

Fiche technique

	Page
INTRODUCTION	447
GÉNÉRALITÉS	448
→ Choix du type d'intersection	448
→ Sécurité aux intersections	452
→ Principes de conception et environnement routier	457
→ Points de conflits aux intersections	458
→ Espacement des intersections	459
→ Tracé de la route	460
→ Usagers spécifiques	461
→ Contrôle des accès	463
→ Abords de route	463
→ Distance de visibilité	463
→ Comparaison de solutions viables	464
INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES	465
→ Intersections à 3 branches à priorité signalée – Généralités	465
→ Intersections à 4 branches à priorité signalée – Généralités	466
→ Intersections à feux – Généralités	466
→ Intersections à plus de quatre branches – Généralités	467
→ Disposition des branches – Généralités	467
→ Suppression de mouvements – Généralités	468
→ Intersections conventionnelles – Mouvement tout droit	469
→ Intersections conventionnelles – Virage à droite	470
→ Intersections conventionnelles – Virage à gauche	471
→ Intersections conventionnelles – Les îlots	474
→ Intersections conventionnelles – Voies de changement de vitesse	477
→ Biseaux de transition	478

	Page
CARREFOURS GIRATOIRES	479
GÉNÉRALITÉS	479
→ Giratoires ordinaires	481
↑ Îlot central	481
Entrée	482
Sortie	485
Voie réservée de virage à droite	485
→ Mini-carrefours giratoires	486
BIBLIOGRAPHIE	487

LISTE DES FIGURES		
Figure I-1	Type d'intersection selon les débits de circulation	451
Figure I-2	Nombre de points de conflits aux intersections et carrefours giratoires	458
Figure I-3	Transformation d'une intersection à plus de 4 branches	467
Figure I-4	Superficie d'une intersection en croix et d'une intersection en X	467
Figure I-5	Exemples – Réalignements d'intersections	468
Figure I-6	Interdictions de virages aux intersections	468
Figure I-7	Réalignement d'une intersection à 3 branches	468
Figure I-8	Virages à droite	470
Figure I-9	Angle d'insertion	470
Figure I-10	Virages à gauche – Aucun traitement	471
Figure I-11	Îlots en forme de goutte	471
Figure I-12	Virage à gauche semi-direct	471
Figure I-13	Voies centrales de virage à gauche – Intersections à 3 branches	472
Figure I-14	Voies centrales de virage à gauche – Intersections à 4 branches	473
Figure I-15	Configuration indonésienne	473
Figure I-16	Voies de décélération	477
Figure I-17	Voie d'accélération	477
Figure I-18	Biseau de transition	478
Figure I-19	Configuration des branches d'un carrefour giratoire	480
Figure I-20	Rayon de trajectoire à un giratoire	482
Figure I-21	Déflexion à l'entrée d'un carrefour giratoire	482

LISTE DES TABLEAUX		
Tableau I-1	Capacité selon le type d'intersection	451
Tableau I-2	Largeurs recommandées – Anneau et diamètre extérieur (Espagne)	484

INTRODUCTION

Les intersections sont une composante essentielle du réseau routier : elles permettent au conducteur de changer leur trajet et d'atteindre un grand nombre de destinations avec un minimum de routes. Les véhicules y roulent plus lentement et sont même parfois obligés de s'arrêter. Ce sont donc des points critiques du réseau en termes de capacité, de niveau de service et de sécurité.

La configuration d'une intersection doit prendre en compte les besoins des usagers peu familiers avec l'endroit où ils se trouvent, des conducteurs ayant peu d'expérience et sans doute aussi des personnes âgées. La plupart des personnes conduisent de manière quasi-automatique, sans trop prêter attention à ce qu'ils font. Lorsqu'ils rencontrent des situations qui leur sont familières, ils réagissent d'instinct en fonction de leur expérience. Ceux qui empruntent un même itinéraire jour après jour le connaissent si bien qu'ils ne remarquent même plus les différences importantes qui peuvent exister entre les intersections qu'ils croisent sur leur parcours. Il en est cependant autrement pour les usagers occasionnels, qu'un manque d'uniformité peut désorienter : ce pourrait être le cas, par exemple, d'une intersection avec *voie de virage-à-gauche semi-directe* rencontrée après plusieurs intersections avec *voie centrale de virage à gauche*. La plupart des erreurs commises par les conducteurs résultent de la combinaison de facteurs qui compliquent la tâche de conduite: contrôle du véhicule, guidage et navigation (*facteurs humains*). Le conducteur doit en effet prendre des décisions dans un court laps de temps, tout en continuant à rouler.

La géométrie de l'intersection et la signalisation doivent toutes deux renseigner correctement le conducteur, à temps et au bon endroit. La signalisation doit être simple et faire réagir les conducteurs de la manière voulue par le concepteur. C'est dire qu'elle doit être prise en compte dès les phases initiales de conception d'un projet et non simplement s'y greffer une fois l'ouvrage complété.

La configuration même d'une intersection peut soulever certaines interrogations. Ce peut être le cas si, par exemple :

- la voie directe courbe vers la droite alors que la voie qui semble aller tout droit est en fait une voie de virage à gauche;
- les mouvements non prioritaires ont des trajectoires qui permettent de compléter ces manœuvres à vitesse élevée.

Les mouvements permis doivent être évidents et faciles tandis que les mouvements interdits doivent être difficiles à effectuer.

Les caractéristiques de l'intersection doivent être adaptées à l'importance relative des débits de circulation : les risques les plus faibles doivent correspondre aux débits les plus importants. Mais même lorsque la circulation est faible, le risque ne doit pas être excessif.

En milieu rural, par exemple une intersection à quatre branches est moins sécuritaire que deux intersections à trois branches; cela vaut aussi pour les intersections en milieu urbain ayant un DJMA important (plus de 20 000 véhicules par jour).

En milieu rural, environ 20 % de tous les accidents se produisent aux intersections et ce pourcentage atteint 50 % en milieu urbain, ce qui est très largement supérieur à la superficie du réseau qu'elles occupent. Cette situation s'explique par :

- les risques de conflits entre véhicules ou entre véhicules et usagers vulnérables qui y sont beaucoup plus élevés;
- le risque d'erreur humaine qui y est aussi plus grand car les conducteurs doivent choisir entre plusieurs trajectoires possibles, adapter leur vitesse et exécuter leurs manœuvres sous de fortes contraintes d'espaces et de temps.

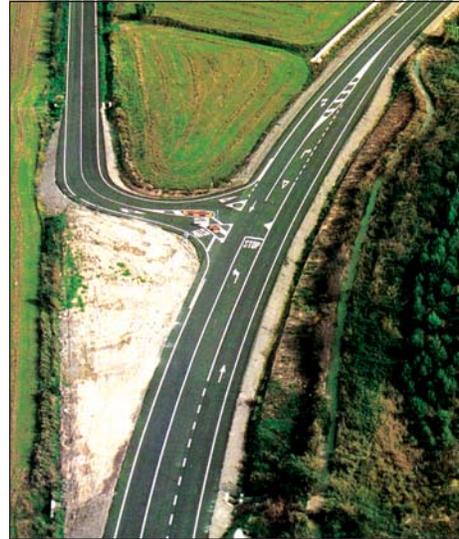


Intersection en Y pouvant engendrer des manœuvres hasardeuses (virages à vitesse élevée, conflits de circulation).

En général, les configurations inhabituelles sont dangereuses. Une certaine uniformité s'impose mais par contre, l'application aveugle de solutions toutes faites ne saurait être un gage de sécurité, surtout dans les environnements urbains très complexes.

On peut procéder au réaménagement d'une intersection existante non seulement pour augmenter sa capacité mais aussi pour améliorer la sécurité en corrigeant certaines caractéristiques indésirables: réduction du nombre de conflits, amélioration de la signalisation, modération de la vitesse, etc. La configuration de base de l'intersection pourra même être modifiée: une intersection conventionnelle sera transformée en carrefour giratoire ou même en échangeur.

Cette fiche technique porte sur les intersections ordinaires (à trois ou quatre branches) et les carrefours giratoires. Elle ne traite pas des échangeurs.



Transformation d'une intersection Y en T.

GÉNÉRALITÉS

CHOIX DU TYPE D'INTERSECTION

De nombreux facteurs interviennent dans le choix du type d'intersection. Parmi les plus importants :

- sécurité routière;
- type et fonction de la route;
- nombre de branches convergentes;
- volume et type de circulation;
- vitesse (conception et pratiquée);
- établissement des priorités de manoeuvre;
- terrain;
- espace disponible;
- occupation des sols adjacents;
- besoins des riverains;
- cohérence dans le réseau;
- aspects environnementaux;
- coût.

L'importance relative de ces facteurs varie selon le site étudié et doit être pris en considération afin de déterminer les solutions qui sont fonctionnellement envisageables et qui feront par la suite l'objet d'un examen plus détaillé. Il faut veiller à maintenir une certaine unité au niveau des itinéraires et des régions, de façon à renforcer les expériences des conducteurs et à mieux répondre à leurs attentes, diminuant ainsi le risque d'accident.

Les paragraphes qui suivent discutent du choix du type d'intersection, selon :

- **le type de route;**
- **l'environnement routier;**
- **la capacité;**
- **le coût.**

Les priorités de passage

Dans les pays où la conduite est à droite, le conducteur est généralement tenu, à défaut de signalisation contraire, de céder le passage aux usagers venant de sa droite. Ce type de priorité de passage doit être évité en milieu rural à moins que la circulation ne soit très faible et que la visibilité soit excellente. On le retrouve souvent sur les rues secondaires en milieu urbain (résidentiel et industriel), particulièrement à sens unique, lorsque le DMJA ne dépasse pas 1 000 – 1 500 véhicules.

La manière la plus simple de régler la circulation à une intersection est de définir la priorité de passage au moyen de panneaux ARRÊT ou CÉDEZ LE PASSAGE sur la route non prioritaire (intersection à priorité signalée). Cette réglementation peut comprendre plusieurs niveaux de priorité entre les divers mouvements. On la retrouve en général :

- sur les routes rurales à chaussée unique, si la capacité des approches non prioritaires le permet;
- aux intersections urbaines où la circulation est peu importante et ne justifie pas l'installation de feux (en particulier sur les rues à sens unique).

La fréquence d'accidents entre véhicules prioritaires et non prioritaires dépend beaucoup du volume de ces derniers et moins de celui de la route principale. Le risque d'accident est élevé pour les véhicules non prioritaires, quel que soit leur volume, mais celui des véhicules prioritaires l'est moins et il est proportionnel au volume de circulation non prioritaire.

Les feux de circulation, qui permettent un grand nombre de combinaisons de phases et de voies spéciales, conviennent bien aux environnements urbains, sur les artères et les collectrices principales. En milieu rural, ils peuvent surprendre le conducteur et accroître le risque d'accident.

Les carrefours giratoires sont une autre façon d'établir les priorités de passage (typiquement en milieu urbain et périurbain). Les véhicules engagés dans l'anneau ont priorité sur ceux qui veulent y entrer. Les carrefours giratoires peuvent satisfaire un plus grand nombre d'approches (jusqu'à 6) et les collisions y sont beaucoup moins graves qu'aux autres types d'intersections.

Choix d'intersection en fonction du type de route

Le choix du type d'intersection doit prendre en compte la catégorie de route où elle se situe, de façon à assurer :

- une bonne lisibilité de la route et de l'intersection;
- un niveau de sécurité acceptable.

Les types d'intersections à ne pas utiliser sont :
sur une autoroute :

- intersections conventionnelles ou giratoires (interdictions légales).

sur une route principale en milieu rural :

- intersections à feux, sauf pour des cas très spéciaux;
- intersections avec priorité à droite.



Évidence d'accidents à une intersection avec feux sur une autoroute.

Choix d'intersection en fonction de l'environnement routier

En milieu rural :

Les types d'intersections suivantes sont admissibles :

- carrefour giratoire :
sauf sur les routes à chaussées séparées à plus de deux voies dans chaque sens, puisque le giratoire y briserait la continuité (à moins que ce ne soit le but recherché; dans un tel cas, la présence du giratoire doit être très évidente et des moyens efficaces de ralentissement de la vitesse doivent être prévus à son approche);
- intersection à priorité signalée (arrêts ou cédez).

Routes principales en milieu rural

Sur ce type de route, les intersections à priorité signalée ont un niveau de sécurité plutôt médiocre justement de par leur mode de fonctionnement : on y trouve en effet des usagers ayant priorité de passage, rapides et attachés à leurs « droits » et des usagers non prioritaires, qui ont de la difficulté à traverser la route principale. Lorsque les volumes de circulation sont élevés, la fréquence d'accidents l'est aussi et la construction d'un carrefour giratoire peut alors être une solution à envisager (Service d'études techniques des routes et autoroutes/Centre d'études des transports urbains, 1992).



Routes secondaires en milieu rural

Les types d'intersections suivantes sont admissibles :

- intersection avec priorité à droite;
- intersection avec priorité signalée (mieux vaut ne pas attribuer de façon systématique la priorité à une route particulière car cela peut entraîner un accroissement des vitesses et diminuer d'autant la sécurité);
- le carrefour giratoire est adéquat si les volumes de circulation le justifient. Les giratoires peuvent être de dimension restreinte si les deux conditions suivantes sont respectées :
 - l'îlot central est bien visible;
 - les véhicules de grande dimension peuvent y manœuvrer.

Intersections sur des routes de contournement

La circulation transversale peut être dense sur une route de contournement de village. De plus, l'environnement est souvent défavorable¹ à l'implantation d'une intersection. Environ 70 % de tous les accidents avec blessés se produisent aux intersections. Les recommandations suivantes devraient être observées :

- les intersections principales devraient être des carrefours giratoires. Si une intersection conventionnelle avec priorité signalée est justifiée à la fin d'un contournement, ce devrait être une intersection en T et non en Y;
- les intersections secondaires sont à éviter (le trafic devrait être transféré vers des intersections avoisinantes). Si la circulation transversale est importante, il faut plutôt prévoir une traverse étagée (souterraine ou surélevée, sans raccordement).

¹ L'intersection est souvent dans une courbe et il peut y avoir une certaine ambiguïté au début et à la fin du contournement.

Routes et rues urbaines :

Les types d'intersections suivantes sont admissibles :

Artère² :

- carrefour giratoire;
- intersection à feux.

Collectrice :

- carrefour giratoire;
- intersection à feux;
- intersection à priorité signalée;
- intersection à priorité à droite

Rue de desserte ou résidentielle :

- carrefour giratoire;
- intersection à priorité à droite.

Choix d'intersection en fonction de la capacité

Le tableau I-1 indique la capacité approximative de plusieurs types d'intersections et la figure I-1 indique le domaine d'application de différents types d'intersections en fonction des débits de circulation, tel que recommandé en Angleterre.

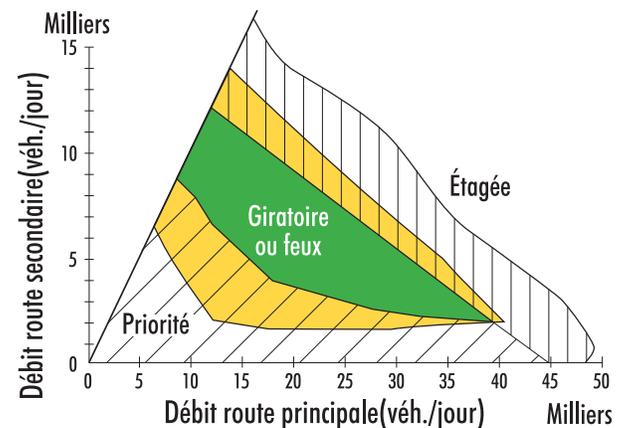
Tableau I-1 Capacité selon le type d'intersection

TYPE D'INTERSECTION	CAPACITÉ (par heure)
Priorité à droite	1,000 – 1,500
Priorité signalée	5,000 – 12,000
Giratoire - Voie unique	20,000 – 28,000
Giratoire - Voie multiples	35,000 – ? ^a
Intersection à feux	20,000 – 80,000 ^b

^a Varie selon le pays.

^b Selon l'affectation des voies.

Figure I-1 Type d'intersection selon les débits de circulation



Source : IHT, 1987

Choix d'intersection en fonction du coût

Un carrefour giratoire occupe un espace relativement restreint et ses coûts de construction sont relativement faibles, ce qui peut lui conférer un avantage sur d'autres types d'intersections. De plus, les coûts d'exploitation et d'entretien y sont plus faibles qu'aux intersections à feux.

En général, il est possible d'ajouter une branche à un carrefour giratoire existant si la distance qui la sépare des autres branches permet d'assurer la sécurité (et non la capacité).

² Aux intersections importantes, les carrefours giratoires sont à privilégier; aux autres intersections, les feux sont pratiques courantes.

SÉCURITÉ AUX INTERSECTIONS

Sécurité – Priorité à droite et priorité signalée (arrêts ou cédez)

L'expérience française montre que la transformation d'intersections à priorité à droite en priorité signalée sur des routes urbaines de transit entraîne une certaine augmentation des accidents, particulièrement sur les routes étroites, à faible circulation et dans de petites agglomérations (Service d'études techniques des routes et autoroutes/Centre d'études des transports urbains, 1992).

Sécurité – Priorité signalée et feux de circulation

Une étude avant-après de la Mairie de Paris a démontré qu'il survient moins d'accidents aux intersections avec feux qu'à celles à priorité signalée (la grande majorité étaient des intersections à quatre branches).

Toutefois, une étude allemande présente des résultats plus nuancés (Frith et Harte, 1996) :

- la transformation d'une intersection à trois branches à priorité signalée en intersection à feux n'améliore pas la sécurité de manière significative;
- la transformation d'une intersection à quatre branches à priorité signalée en intersection à feux réduit de manière significative le nombre et la gravité des collisions;
- la transformation d'une intersection à quatre branches avec priorité à droite en intersection à feux réduit de façon significative le nombre d'accidents mais pas leur gravité.

De tels résultats semblent être attribuables aux différences de morphologie entre les intersections à trois et quatre branches et aux différences de vitesse entre les intersections avec priorité à droite et celles avec arrêt(s) ou cédez. Les améliorations les plus importantes ont été observées aux intersections où les débits sur les routes secondaires étaient relativement importants.

Sécurité – Carrefour giratoire et autres types d'intersections

Une étude britannique indique que pour des produits équivalents de débits principaux et secondaires, il survient moins d'accidents aux carrefours giratoires qu'à ceux à feux (et ils sont moins graves)³. Une étude de Brilon et Stuwe (1991) confirme cette tendance pour les carrefours giratoires de dimension modérée (moins de 40 mètres), mais en utilisant un indice différent (rapport entre accidents et trafic total entrant). La fréquence d'accidents semble plus élevée aux carrefours giratoires de configuration plus ancienne (grand diamètre) qu'aux intersections à feux, mais leur gravité reste légèrement inférieure.

Pour les deux-roues (surtout les vélos), le risque d'accident aux intersections ordinaires est équivalent à celui des carrefours giratoires; le risque est plus important aux entrées des giratoires lorsque les vitesses sont relativement élevées.

On croit généralement⁴ que les feux contribuent à réduire le nombre de collisions à angle mais augmentent les collisions arrière. Une telle conséquence devrait suffire à limiter le recours à cette solution à moins que le volume de circulation sur les approches secondaires ne soit élevé (de sorte que la réduction de collisions à angle puisse compenser la hausse de collisions arrière qui sont moins graves) ou que le débit piétonnier ne soit important.

C'est dire qu'il apparaît souhaitable, du point de vue de la sécurité, de transformer les intersections à forts débits (surtout sur les rues secondaires) en carrefours giratoires ou tout au moins d'y installer des feux. De même, le carrefour giratoire a bien sa place aux intersections majeures de quartiers résidentiels. Aux intersections moins importantes, la priorité à droite est acceptable car les conducteurs sont alors enclins à redoubler d'attention et à ralentir davantage qu'aux intersections à priorité signalée.

Étant donné le rapprochement des branches à un mini carrefour giratoire, il faut s'assurer que le conducteur qui se prépare à y entrer puisse bien voir les véhicules qui s'y trouvent déjà et soit en mesure de réagir rapidement dès qu'un créneau suffisant devient disponible. Les cyclistes peuvent être difficilement perceptibles et s'ils sont nombreux, les intersections à feux sont probablement plus sécuritaires.

³ Sauf aux carrefours giratoires de grande dimension.

⁴ Mais cela n'a pas été clairement démontré.

Sécurité – Intersections en + à quatre branches

Si l'on ne considère que l'aspect sécurité, ce type d'intersection devrait être réservé soit aux routes à faible débit, soit aux endroits où la plus grande partie des véhicules venant d'une route non prioritaire tourne pour emprunter la route prioritaire (plutôt que de la traverser). On note une tendance au remplacement d'intersections en + par deux intersections décalées en T et l'expérience montre que cette action peut entraîner des réductions du nombre d'accidents pouvant atteindre 70 % (Royaume-Uni).

On doit éviter la présence d'intersections en + à priorité signalée sur les routes rurales à chaussées séparées, car les usagers des approches secondaires ont une grande distance à traverser. La probabilité d'accident y est en effet :

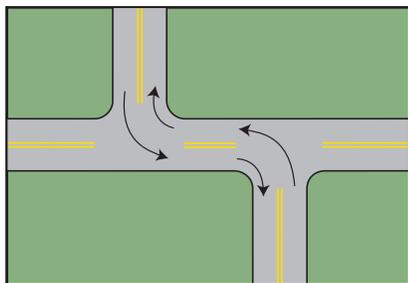
- 1,5 fois plus élevée que si la même manœuvre de traverse est effectuée sur une route à chaussée contiguë (deux fois plus si l'on ne considère que les accidents mortels);
- 10 fois plus élevée que pour un trajet de 1 km sur une route à chaussée unique, sans intersection;
- 30 fois plus élevée que pour traverser un carrefour giratoire.

Intersection rurale à 4 branches comparée à 2 intersections décalées à 3 branches

Le remplacement d'une intersection rurale à quatre branches par deux intersections décalées à trois branches présente un avantage marqué en terme de sécurité. Le décalage doit se situer entre 5 m et 40 m pour les routes secondaires et il doit être plus important sur les routes principales. Deux types d'aménagements sont possibles (circulation à droite) :

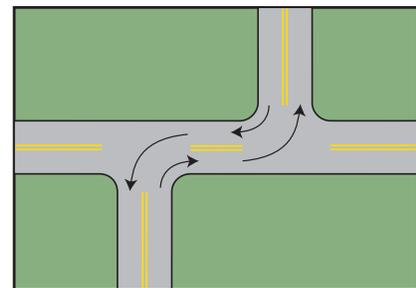
Le première intersection à 3 branches est du côté gauche de la route :

- les véhicules qui traversent la route prioritaire doivent regarder des deux côtés de la route et attendre un créneau nécessaire; ils convergent par la gauche;
- une fois sur la route prioritaire, les manœuvres de virages s'effectuent vers la droite, ce qui réduit les interactions avec les mouvements tous droits.



La première intersection à 3 branches est du côté droit de la route :

- les véhicules qui traversent la route prioritaire n'ont qu'à regarder que d'un côté car il convergent par la droite;
- une fois sur la route prioritaire, les virages s'effectuent vers la gauche, ce qui nécessite généralement une **voie centrale de virage à gauche**.



Sécurité – Intersections à feux

Collisions avec piétons

Entre 60% et 70 % des accidents corporels impliquant un piéton aux intersections à feux et environ 90 % des décès survenus dans les mêmes circonstances impliquent un véhicule en mouvement direct et un piéton en traversée. Le véhicule est plus souvent à l'entrée de l'intersection qu'à sa sortie et le piéton vient de s'engager pour traverser. Dans 80 % des cas, le piéton traverse sur un feu rouge.

Les accidents impliquant un piéton âgé présentent une problématique particulière: leur fréquence (environ 8 % de tous les accidents avec piéton) est inférieure à la proportion de personnes âgées dans la population (environ 13 %) mais ils causent davantage de décès (23 %). La plupart de ces accidents surviennent :

- le jour;
- au début de la traversée et impliquent un véhicule qui tourne à gauche, quitte l'intersection ou tourne à droite au feu jaune;
- lorsqu'un véhicule fait marche arrière.

Les facteurs suivants augmentent le risque de collision avec piéton :

- intersections à voies multiples (si le nombre de voies est de quatre au lieu d'une, le risque est multiplié par 2,5);
- distance de visibilité restreinte à l'entrée de l'intersection;
- coordination des feux qui améliore le niveau de service des usagers de la route prioritaire. Les accidents augmentent parce que les piétons, lassés d'attendre, traversent au feu rouge;
- phases piétons à demande (adaptative) car l'attente y est souvent plus longue. S'il y a peu de circulation, certains piétons traversent au feu rouge, ce qui est dangereux parce les véhicules circulent à vitesse élevée;
- grande distance entre la traverse piétonne et l'intersection la plus rapprochée;
- mauvais entretien des feux;
- possibilité pour les véhicules de tourner à droite au feu jaune clignotant, surtout si le débit de piétons est élevé et les vitesses sont faibles.

Accidents sur virage à gauche

Les principaux problèmes de sécurité liés aux manœuvres de virage à gauche sont les suivants :

- difficulté pour le véhicule qui tourne à gauche de bien se placer transversalement;
- problèmes de stockage;
- difficulté à percevoir les véhicules qui viennent en sens inverse (surtout les deux-roues);
- erreur d'évaluation de la vitesse ou de la distance du véhicule s'approchant en sens opposé;
- vitesse élevée des véhicules en mouvement direct.

L'allongement de la durée de « rouge intégral » accroît le risque d'accident pour ceux qui effectuent la manœuvre de virage à gauche car un plus grand nombre d'usagers tournent au feu rouge. La phase de rouge intégral (et jaune) devrait permettre le dégagement de l'intersection avant le début de la phase verte. Une diminution du rouge intégral peut nécessiter un allongement du feu jaune, ce qui peut inciter certains usagers à accélérer au feu jaune au lieu de ralentir, accroissant ainsi le risque d'accident.

Collisions à angle droit

Ce type d'accident est très grave. Il se produit généralement quand un conducteur brûle un feu rouge ou parfois lorsque les feux sont mal réglés (intervalle de dégagement jaune et rouge intégral)⁵. Dans la plupart des cas, le conducteur essaie de passer après la fin du feu vert et non avant le commencement de la phase verte.

Plusieurs facteurs contribuent à ce type d'accident :

- mauvaise perception des feux, à cause de la vitesse, de l'environnement routier ou de l'éblouissement;
- vitesse excessive;
- mauvaise estimation du temps de jaune;
- crainte d'une collision arrière par un autre usager;
- faible préoccupation du mode de fonctionnement des feux (surtout les cyclomotoristes).

La configuration de l'intersection et le minutage des feux peuvent aussi contribuer à ce type d'accidents :

- largeur excessive des approches de l'intersection;
- cycles trop courts : si le cycle diminue de 120 à 30 secondes, la fréquence totale d'accidents est multipliée par deux et la fréquence de collisions à angle droit par quatre.

Mais ces mêmes facteurs (configuration de l'intersection et minutage des feux) peuvent aussi contribuer à réduire les accidents. On devra en ce sens privilégier :

- des configurations qui encouragent l'adoption de vitesses modérées, comme une légère déflexion des mouvements directs attribuable à un décalage des branches opposées;
- la présence d'un îlot central (refuge);
- la réduction à sa valeur minimale de la phase «rouge intégral ». Les têtes de feux de la rue transversale ne devraient pas être visibles car certains conducteurs pourront alors s'y fier pour diminuer la marge de sécurité assurée par le «rouge intégral».

Sécurité – Carrefours giratoires

Le niveau de sécurité à un carrefour giratoire est fonction d'aspects qui ne sont pas toujours compatibles entre eux : il faut en effet trouver un compromis qui permette aux véhicules de changer d'approche de façon sécuritaire et sans trop de délais. Une circulation trop dense ou trop rapide et le manque d'espace (qui est souvent un facteur déterminant en milieu urbain), font qu'il peut être difficile d'en arriver au meilleur compromis.

Les risques d'accidents aux carrefours giratoires sont relativement faibles. Les accidents corporels y sont moins fréquents qu'aux autres types d'intersections dès que le volume de circulation sur la route non prioritaire dépasse :

- 5 % de la circulation de la route prioritaire, pour les intersections en +;
- 10 %, pour les intersections en T.

La fréquence de décès est moins élevée aux carrefours giratoires qu'aux autres types d'intersections pouvant même avoir des niveaux de circulation plus faibles, car la gravité des accidents y est moindre.

Mais même si ces carrefours présentent une excellente fiche de sécurité, leur configuration doit être bien étudiée :

- le facteur le plus important est la déflexion des approches d'entrée;
- l'îlot central ne doit pas être de trop grande dimension (les îlots de plus de 30 m de diamètre sont moins sécuritaires);
- les giratoires peuvent causer des problèmes particuliers pour les piétons et les cyclistes.

⁵ Il peut aussi être lié à un feu jaune clignotant ou à des feux en panne.

Carrefour giratoire en milieu rural et péri-urbain

Le type d'accident le plus fréquent est la perte de contrôle à l'entrée du giratoire, qui se termine sur l'îlot central; ce type d'accident représente presque 40 % des blessures et la quasi-totalité des décès. Le plus souvent, il s'agit d'un conducteur qui connaissait bien la route et l'intersection avant qu'elle ne soit transformée en giratoire, et qui s'est vu surpris par le changement (qui peut parfois dater de plusieurs mois). Lorsque l'accident est mortel, le conducteur a souvent tenté une manœuvre de freinage tardive avant de frapper l'îlot qui est de conception agressive (p. ex. obstacle rigide).

Les autres types d'accidents qui surviennent aux carrefours giratoires en milieu rural et péri-urbain incluent :

- des collisions entre un véhicule entrant et un autre qui se trouve déjà dans l'anneau, ce qui est plus fréquent si l'entrée est évasée;
- des pertes de contrôle dans l'anneau, ce qui est plus fréquent si l'anneau est de forme elliptique.



Carrefour giratoire en milieu urbain

En milieu urbain, le type d'accidents le plus fréquent implique un véhicule qui entre et un autre déjà engagé dans l'anneau (près de 40 %⁶). Les autres types d'accidents incluent :

- des pertes de contrôle à l'entrée (environ 30 % des accidents), ce qui touche particulièrement les motocyclistes;
- des pertes de contrôle dans l'anneau; ce qui touche particulièrement les cyclomotoristes;
- des accidents impliquant un piéton : dans près du tiers des cas, le piéton tentait de traverser une entrée ou, assez souvent, une sortie large et rapide. Dans le tiers des cas également, le piéton se trouvait dans l'anneau et souhaitait prendre un raccourci pour traverser un giratoire de grande dimension.

⁶ Jusqu'à 70 % si les entrées sont très évasées.

PRINCIPES DE CONCEPTION ET ENVIRONNEMENT ROUTIER

Même si la configuration géométrique d'une intersection doit toujours prendre en considération le contexte spécifique où elle se situe, l'expérience montre que certaines différences sont à respecter entre les milieux rural et urbain. Dans le premier cas, le concepteur se penchera d'abord sur les éléments liés à la sécurité tandis que dans le second, les questions d'écoulement de la circulation et de capacité sont très importantes.

En milieu rural

Les éléments suivants doivent être pris en compte :

- la distance de visibilité doit être adéquate sur chaque approche et à l'intersection même;
- la configuration de l'intersection doit être basée sur les vitesses pratiquées sur la route prioritaire;
- il faut éviter les courbes trop raides et les pentes de forts pourcentages.

Aux intersections à priorité à droite, les mesures suivantes s'imposent :

- la présence de l'intersection doit être renforcée: abords dégagés, feux clignotants, chaussée colorée, signalisation de direction, etc.;
- la distance de visibilité doit être excellente: recul des clôtures et de la végétation, interdictions de stationnement (combiné à des rétrécissements de chaussée);
- plusieurs des principes qui sont pertinents aux intersections à priorité signalée doivent être rigoureusement appliqués: lisibilité, simplicité, compacité, modération de la vitesse, etc.

En milieu urbain

Les éléments suivants doivent être pris en compte :

- le choix de profil en travers doit permettre d'optimiser la capacité sur chacune des approches;
- les besoins associés à l'activité piétonnière doivent être pris en considération;
- les besoins de toutes les autres catégories d'usagers doivent aussi être pris en considération (cyclistes, transports en commun, etc.);
- les problèmes liés à la présence d'entrées privées situées à proximité de l'intersection doivent être résolus;
- les voies de virage doivent pouvoir opérer de façon indépendante des voies directes.

En zone résidentielle

L'accessibilité doit y primer sur la mobilité et la capacité. Une mobilité et une vitesse restreintes sont un avantage car ils se traduisent par une sécurité accrue pour les piétons et les enfants, par une réduction de la pollution (bruit, émissions par les véhicules) et par des désagréments moins importants pour les riverains.

Pour qu'une rue résidentielle opère de façon sécuritaire, les principes suivants doivent être respectés :

- le nombre de liens avec des artères ou des rues principales doit être limité; ces liens doivent s'effectuer principalement par le biais de collectrices;
- le réseau de rues doit être discontinu ou en arc de cercles, de façon à empêcher la circulation non locale.



Mesure de modération de la circulation à une intersection en milieu résidentiel.

Les améliorations des trames de réseaux routiers en milieu résidentiel, qui visent à réduire à la fois le volume de circulation et les vitesses, doivent être planifiées de façon adéquate afin d'éviter que les problèmes rencontrés dans un secteur ne fassent que migrer dans une zone résidentielle adjacente.

Carrefours giratoires

En milieu rural, la perte de priorité imposée aux usagers de la route principale par la présence d'un carrefour giratoire a un effet négatif sur le niveau de service, ce qui peut s'avérer problématique.

En milieu urbain ou périurbain, les conditions de circulation ne sont pas toujours compatibles avec la présence d'un carrefour giratoire (volumes de circulation élevés avec variations horaires importantes, pelotons de véhicules, problèmes d'espace).

POINTS DE CONFLITS AUX INTERSECTIONS

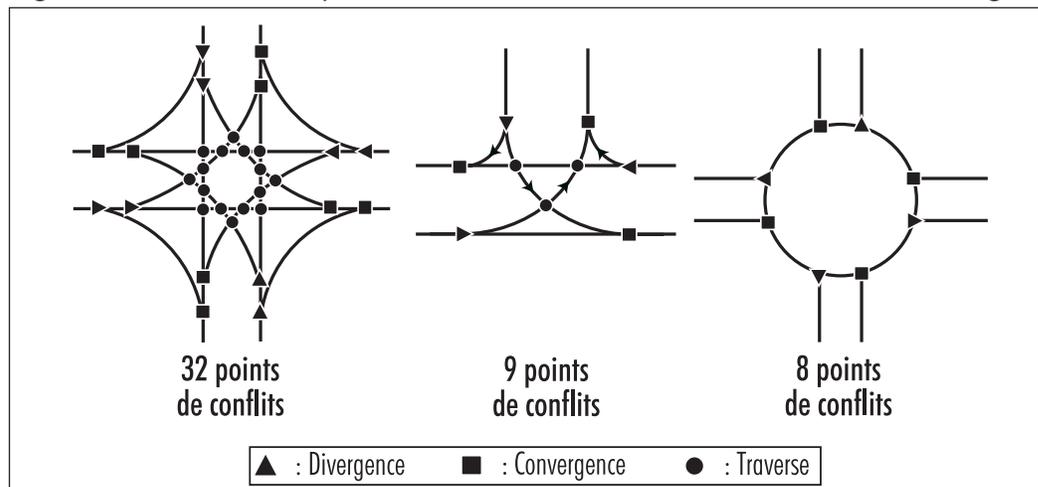
Une intersection compte un ensemble de points de conflits entre les véhicules qui y circulent. Les critères de conception utilisés doivent permettre de réduire la gravité des accidents à chacun de ces points. Les conflits peuvent être regroupés en différentes catégories, selon leur type :

Divergence	avec une voie de décélération adéquate, ces conflits peuvent se transformer en circulation parallèle.
Convergence	avec une voie d'accélération adéquate, ces conflits peuvent aussi se transformer en circulation parallèle.
Traverse	la présence d'un îlot de refuge central permet de diviser cette manoeuvre en deux étapes.

Le nombre de points de conflits augmente de façon importante avec le nombre d'approches de l'intersection (figure I-2). Les conditions de circulation s'améliorent si :

- le nombre de points de conflits est moins important, surtout lorsque les volumes de circulation sont élevés. C'est dire que le risque d'accident est moins élevé à une intersection à trois branches qu'à une à quatre branches. Lorsqu'il y a plus de quatre branches, mieux vaut choisir une autre solution, un carrefour giratoire par exemple. Pour réduire le nombre de points de conflits, on peut supprimer certains mouvements non prioritaires ou regrouper des mouvements deux à deux;
- la séquence de phases d'un feu de circulation est adéquate;
- la distance entre les différents points de conflits est augmentée par des îlots, des voies auxiliaires ou une combinaison des deux. Il faut prendre en compte la vitesse des véhicules et le besoin d'une éventuelle voie de stockage. Aux intersections à feux, la séparation dans le temps réduit le besoin de séparation dans l'espace.

Figure I-2 Nombre de points de conflits aux intersections et carrefours giratoires



L'angle auquel se produisent ces conflits doit être géré adéquatement :

- pour les manœuvres de convergence et de divergence, l'angle entre les véhicules doit être le plus faible possible (moins de 5°), d'où le besoin de *voies de changement de vitesse*;
- pour les manœuvres de croisement, l'angle entre les véhicules doit être aussi près de la perpendiculaire que possible (entre 75° et 105°). On améliore ainsi la visibilité et l'évaluation de la vitesse de l'autre véhicule, tout en réduisant les distances à franchir (*disposition des branches*);
- pour les manœuvres d'insertion, la vitesse d'insertion est fonction de l'angle entre les trajectoires, qui doit se situer entre 20° et 60°.

ESPACEMENT DES INTERSECTIONS

Il faut chercher un compromis entre les besoins particuliers de chaque intersection et l'exploitation cohérente du réseau routier. L'emplacement des intersections est le plus souvent fonction de l'occupation des sols, qu'elle soit spontanée ou planifiée. Une grande densité d'occupation entraîne non seulement un accroissement de la circulation mais crée aussi des pressions pour accroître le nombre d'intersections.

La distance entre intersections a une influence significative sur le niveau de service et de sécurité d'une route :

- un plus grand espacement est requis sur les routes ayant une fonction de mobilité;
- un espacement trop limité (moins de 450 m) entre des intersections ayant des lacunes de conception augmente le taux d'accidents.

En milieu urbain et périurbain, il est souvent impossible de conserver un espacement idéal entre les intersections, surtout dans les zones à forte densité de population. Sur les artères, on peut obtenir une « bande verte » dans les deux sens en synchronisant les feux. On peut améliorer les conditions d'écoulement de la circulation si :

- la distance entre les intersections est uniforme et supérieure à 200 m⁷;
- la distance entre l'intersection et la bretelle d'autoroute la plus rapprochée est supérieure à 200 mètres.
- la circulation sur les artères est à sens unique;
- certains virages à gauche sont interdits;

La distance minimale entre deux intersections doit être de :

- 60 mètres sur les collectrices et entre les intersections à quatre branches des rues de desserte;
- 40 mètres pour les intersections à trois branches sur les rues de desserte.

⁷ Cette distance peut être réduite à 100 mètres si les manœuvres de virages à gauche sont interdites (circulation à droite).

TRACÉ DE LA ROUTE

Tracé en plan

Les intersections devraient idéalement être situées sur des alignements droits car leur emplacement en courbe cause plusieurs problèmes :

- la visibilité est réduite;
- une partie de l'adhérence de surface doit être utilisée pour les changements de direction, ce qui diminue le frottement disponible pour les manœuvres de freinage;
- les possibilités de conflits sont accrues pour les véhicules ayant à traverser la route principale;
- le dévers et l'élargissement des voies compliquent la situation.

Les carrefours giratoires ne doivent pas être localisés en courbe, car il peut en résulter des problèmes de visibilité et d'orientation. En fait, il est parfois possible de remplacer une courbe par un carrefour giratoire : on conserve les deux tangentes et le changement de direction s'effectue à l'intérieur du giratoire.

Profil en long

Les pentes des approches d'une intersection ne devraient pas être supérieure à 3 % et elle ne doivent en aucun cas dépasser 6 %⁸, de façon à :

- ne pas créer de problème de visibilité;
- améliorer le confort des occupants des véhicules qui doivent s'immobiliser à l'intersection;
- permettre aux conducteurs de bien évaluer les changements de vitesse requis.

Il faut éviter l'implantation d'intersections à proximité de courbes verticales saillantes ou dans les courbes mêmes.

Il faut aussi éviter les écarts prononcés de pente sur chacune des approches et à l'intersection même. Les points suivants peuvent servir de lignes directrices :

- à plus de 70 km/h, la différence de pente entre les extrémités d'une courbe verticale ne doit pas dépasser 2 %;
- à 50 km/h, cette différence peut atteindre 4 % si la visibilité est suffisante. Le niveau de confort diminue, mais la sécurité n'est pas compromise;
- à 30 km/h, la différence peut atteindre 6 %.

Il ne doit pas y avoir de courbe verticale à moins de 20 m de la partie commune de la chaussée; cette distance peut être réduite à 10 ou même 5 m si l'intersection est peu achalandée.



Combinaison hasardeuse : pente, intersection, accès et courbe horizontale.

⁸ Si le volume de circulation et la vitesse sont faibles, comme dans une zone résidentielle, on peut tolérer des pentes de 4 à 6 % sur les approches.

USAGERS SPÉCIFIQUES

Poids lourds

Des rayons d'intersection trop restreints augmentent les empiètements des véhicules lourds et les voies de décélération trop courtes augmentent le risque d'accident indiquant un véhicule lourd (et tout particulièrement le risque de mise en portefeuille des remorques et des semi-remorques, lorsque le coefficient de frottement mobilisé est supérieur à 0,25). Aux carrefours giratoires, ce type d'accident est rarement mortel mais le renversement de la cargaison peut occasionner des retards importants. L'expérience révèle qu'au moins une des circonstances suivantes est généralement associée à ce type d'accident :

- une déflexion trop faible à l'entrée du giratoire, qui se traduit par des vitesses élevées;
- un tronçon droit dans l'anneau du giratoire, qui se termine en courbe de faible rayon;
- un virage serré à la sortie du giratoire;
- un changement brusque de dévers.



Empiètement d'un véhicule lourd sur la voie opposée lors d'une manoeuvre de virage à une intersection.

Piétons

Les trajets empruntés par les piétons ont tendance à être le plus court possible; ils doivent être étudiés avec attention pour s'assurer de la pertinence de l'emplacement des aménagements qui ont été prévus pour assurer leur protection.

Des traverses piétonnes dont la présence est clairement marquée par un marquage approprié peuvent contribuer à réduire les accidents impliquant un piéton. Ces passages :

- informent les conducteurs que des conflits avec piétons peuvent se produire à cet endroit (de façon limitée);
- indiquent aux piétons les endroits les plus sécuritaires pour traverser;
- concentrent les traverses piétons à des endroits déterminés; cet avantage peut être accentué par l'utilisation de barrières de canalisation qui empêchent les piétons de traverser ailleurs (à la condition qu'elles ne leur imposent pas un trop long détour et ne nuisent pas à la visibilité des conducteurs).



Refuge central protégé à une traverse piétonne.

L'efficacité des traverses piétonnes est réduite⁹ si la distance à franchir est grande (plus de 10 m) et dans de tels cas, elles peuvent même créer un faux sentiment de sécurité. Mieux vaut alors un passage piéton dénivélé, même si cette solution est en général peu attrayante. D'autres solutions peuvent aussi être envisagées :

- le rétrécissement de la chaussée à l'emplacement de la traverse piétons en élargissant le trottoir au-delà des espaces de stationnement;
- l'aménagement d'un refuge central pour permettre aux piétons de traverser en deux étapes;
- l'accroissement du contraste des traverses piétonnes en utilisant des pavés ou couleurs différentes.

⁹ De plus de 60 %.

D'autres facteurs peuvent contribuer à diminuer la fréquence d'accidents aux traverses piétons :

- la proximité de l'intersection (la diminution peut être significative si la distance entre la traverse et la ligne de bordure de la rue transversale est inférieure à 2 m);
- le volume de piétons qui traversent est élevé (ce qui les rend plus visibles);
- le stationnement est interdit à proximité de la traverse (ce qui améliore la visibilité des piétons).

Les opinions diffèrent quant à l'effet du remplacement de panneaux d'ARRÊT ou CÉDEZ LE PASSAGE par des feux :

- le risque d'accident semble plus élevé aux traverses piétons à feux qu'aux traverses sans feux (mais il est tout de même inférieur à celui des intersections n'ayant ni feux de circulation ni traverse et où les piétons doivent traverser loin de l'intersection);
- si le volume de véhicules est faible, beaucoup de piétons traverseront sans doute au feu rouge, surtout s'ils doivent actionner et attendre leur signal;
- le rôle des feux est moins important si les vitesses pratiquées sont inférieures à 30 km/h ou si les volumes de virages sont élevés.

Des mesures spéciales doivent être prévues pour les piétons handicapés :

- l'abaissement des bordures pour les fauteuils roulant, en évitant les marches de plus de 10 mm et les pentes supérieures à 1:12;
- le revêtement de texture spéciale perceptible par les aveugles. La séparation avec la chaussée doit être marquée par une marche pouvant atteindre 10 mm.

Aux carrefours giratoires, il faut :

- éviter à tout prix la traversée de l'îlot central;
- implanter les traverses piétons assez loin (> 10 m) de la ligne «CÉDEZ LE PASSAGE» qui précède l'entrée évasée du giratoire, de façon à diminuer la distance à franchir. Un refuge sur l'îlot séparateur peut s'avérer utile;
- envisager dans certains cas, l'aménagement d'un passage souterrain ou d'une passerelle.

Transport en commun (autobus)

Les arrêts de bus sont souvent situés près d'une intersection, de façon à faciliter l'accès des passagers à un plus grand nombre de destinations. Un arrêt situé après l'intersection facilite la réinsertion du bus dans la circulation.

Aux carrefours giratoires, l'arrêt peut se situer hors route, soit avant l'entrée ou après la sortie (la vitesse à ce point peut cependant être plus élevée).

Deux-roues (carrefours giratoires)

Les deux-roues, et tout particulièrement les vélos, peuvent représenter près de 50 % des accidents avec blessés aux carrefours giratoires. Leur taux d'accidents est donc beaucoup plus élevé que celui des voitures. Il faut tenir compte du fait que les conducteurs de deux-roues tendent à vouloir augmenter le rayon de leur trajectoire et que leur champ de vision peut être limité par leur casque.

Si l'on s'attend à ce que le nombre de cyclistes soit élevé, il faut envisager les mesures suivantes :

- un itinéraire alternatif, de façon à leur permettre d'éviter le carrefour giratoire;
- des passages dénivelés (piétons et cyclistes);
- un autre type d'intersection, à feux par exemple.

CONTRÔLE DES ACCÈS

Pour accroître la mobilité et la sécurité, il faut éviter la présence d'entrées privées et commerciales à proximité des intersections (station service, commerce, chemin de ferme, etc.).

Si l'entrée ne peut être éliminée, il faut l'éloigner le plus possible de l'intersection, sur la route secondaire, et limiter sa largeur par l'utilisation de bordures ou autres.



Accès à une station-service non contrôlé en intersection.

ABORDS DE ROUTE

Une zone dégagée d'obstacles rigides et de pentes de talus abruptes doit être aménagée et maintenue en bordure des intersections de façon à limiter la gravité d'éventuelles pertes de contrôles.

Les entrées et terre-pleins centraux, qui peuvent être facilement atteints par des véhicules hors contrôle, présentent souvent des structures de drainage rigides et des pentes normales à la direction de déplacement.

Les caractéristiques de ces composantes de la route ne doivent pas constituer un obstacle pour les véhicules en sortie de route (p. ex. éviter les terminaisons verticales de ponceaux de drainage).

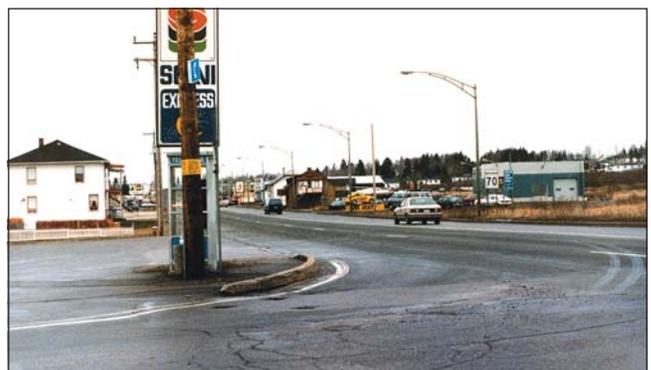


Emplacement dangereux d'un poteau d'utilité publique en intersection.

DISTANCE DE VISIBILITÉ

Le conducteur qui s'approche d'une intersection doit avoir une visibilité suffisante pour pouvoir immobiliser son véhicule en toute sécurité. Il doit aussi disposer d'une distance de visibilité suffisante pour compléter toutes les manœuvres non prioritaires de façon sécuritaire.

Tel que décrit dans la *fiche technique distance de visibilité*, les critères de visibilité à respecter varient en fonction des caractéristiques de l'intersection considérée. L'*étude technique distance de visibilité* explique comment mesurer la visibilité à une intersection.



Obstructions visuelles en intersection.

COMPARAISON DE SOLUTIONS VIABLES

À l'étape de conception, l'intersection et le raccordement de chacune de ses branches doivent faire l'objet d'une analyse fonctionnelle qui, outre les aspects relatifs à la capacité, au niveau de service et à la configuration du site, doit aussi considérer la facilité d'utilisation et la continuité d'itinéraire du point de vue d'un conducteur peu familier avec l'intersection.

Il faut évaluer le niveau de cohérence de l'environnement routier à partir d'une analyse de la charge de travail du conducteur, qui prend en compte les éléments suivants :

- emplacement, proximité et séquence des raccordements (entrées et sorties de l'intersection) et autres convergences et divergences;
- sections d'entrecroisement;
- pertinence de la signalisation (visibilité, simplicité, etc.);
- clarté des trajectoires à suivre.

Chaque itinéraire doit être évalué en fonction des divers éléments susceptibles de guider le conducteur qui l'emprunte. On utilisera à cette fin un plan indiquant :

- le nombre de voies;
- les volumes de circulation aux heures de pointe;
- les vitesses prévues;
- les distances de visibilité disponibles;
- la signalisation de direction.

Cette analyse permettra de déterminer si la proximité des raccordements peut induire le conducteur en erreur ou si des conflits sont prévisibles dans les zones d'entrecroisements. Il faudrait aussi vérifier la clarté des trajectoires et les besoins de signalisation : une trajectoire peut être directe et facile à suivre ou complexe et criblée de conflits avec d'autres éléments.

Cette analyse fonctionnelle devrait aussi comprendre la vérification de la longueur des voies de décélération et des rayons de virage, particulièrement lorsque l'intersection ne suit pas un modèle standard.

INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES

INTERSECTIONS À 3 BRANCHES À PRIORITÉ SIGNALÉE – GÉNÉRALITÉS

Il faut éviter les intersections en Y, surtout en milieu rural; elles devraient être remplacées par des intersections en T ou des carrefours giratoires.

Mouvements possibles

À une intersection en T, les mouvements suivants sont possibles :

- deux mouvements directs sur la route prioritaire;
- deux virages à droite;
- deux virages à gauche (dont le traitement définit l'intersection).

Mouvements directs

Ces mouvements doivent pouvoir être complétés sans aucune difficulté; les branches peuvent devoir être modifiées, suivant l'importance relative de la circulation, de façon à obtenir un angle de croisement convenable.

Virages à droite¹⁰

Les virages à droite s'effectuent directement. Selon leur volume, la vitesse recherchée et l'espace dont on dispose, certains aménagements peuvent être mis en place :

- voie de virage sans canalisation;
- voie de virage avec canalisation;
- **biseau de transition;**
- **voie de changement de vitesse.**

Virage à gauche¹⁰

Le traitement accordé à la résolution des conflits de circulation résultant des manœuvres de virage à gauche définit l'intersection. Un volume élevé de ces manœuvres peut gêner les mouvements directs et il faut donc prévoir les aménagements requis pour que ceux qui tournent à gauche puissent attendre à l'extérieur de la voie directe.

Pour des raisons de sécurité, il faut respecter les principes suivants aux intersections en T avec arrêt :

- simplicité et compacité (peu d'îlots, aussi peu de voies réservées de virage à droite que possible);
- absence d'ambiguïtés (au niveau des conditions d'opération et de la configuration de l'intersection);
- contrôle de la quantité d'information : les conducteurs doivent être en mesure de prendre des décisions une à une;
- cohérence entre l'aménagement et les priorités de passage : les trajectoires doivent être évidentes, faciles à suivre et parfaitement continues;
- déflexions dans les trajectoires non prioritaires (sauf, peut-être, en milieu urbain très dense).

Les manœuvres de virage à gauche peuvent être traitées de l'une ou l'autre des façons suivantes :

- **aucun traitement;**
- **îlot en forme de goutte;**
- **voie centrale de virage à gauche;**
- **voie de virage à gauche semi-directe.**

¹⁰ Circulation à droite

INTERSECTIONS À 4 BRANCHES À PRIORITÉ SIGNALÉE – GÉNÉRALITÉS

Il faut éviter les intersections en X qui devraient être remplacées par des intersections en + ou des carrefours giratoires.

Mouvements possibles

A une intersection à 4 branches, les mouvements suivants sont possibles :

- 4 mouvements directs, pour les véhicules qui continuent tout droit sur la même route;
- 4 virages à droite, qui se font habituellement sans problèmes (circulation à droite);
- 4 virages à gauche (dont le traitement définit l'intersection).

Mouvements tout droit et virages à droite

La plupart des principes qui s'appliquent au traitement des mouvements directs et des virages à droite aux intersections à trois branches valent aussi pour celles à quatre branches.

Virage à gauche

Modes de traitement possibles :

- *aucun traitement;*
- *2 îlots en forme de goutte;*
- *voie centrale de virage à gauche;*
- *carrefour giratoire à îlot divisé.*

INTERSECTIONS À FEUX - GÉNÉRALITÉS

La plupart des principes qui s'appliquent aux intersections à priorité signalée valent aussi à celles avec feux de circulation. Ces dernières permettent cependant une séparation dans le temps des conflits résultant de manœuvres de traverses et de virages à gauche (conduite à droite). On y combine souvent une voie réservée de virage à gauche et une phase exclusive pour cette manœuvre. Le mode envisagé de fonctionnement des feux de circulation fait partie des éléments à prendre en compte au moment de la conception.

Il faut éviter les intersections à branches multiples (plus de quatre) car elles exigent des séquences de feux composées de plusieurs phases, ce qui diminue la capacité, tout en nécessitant des aménagements géométriques relativement complexes.

Les éléments suivants doivent aussi être pris en considération aux intersections à feux :

- transport en commun (emplacement des arrêts, exploitation);
- piétons (volumes et manœuvres);
- stationnement (interdiction à proximité de l'intersection);
- autres besoins en matière de gestion de la circulation (sens uniques, interdictions de virages, etc.).

Les manœuvres de virage à gauche peuvent être initiées à partir d'une voie réservée ou de la voie d'extrême gauche en amont de l'intersection (partagée avec le mouvement direct). Il faut aussi prendre en compte la manière dont sont effectués ces virages :

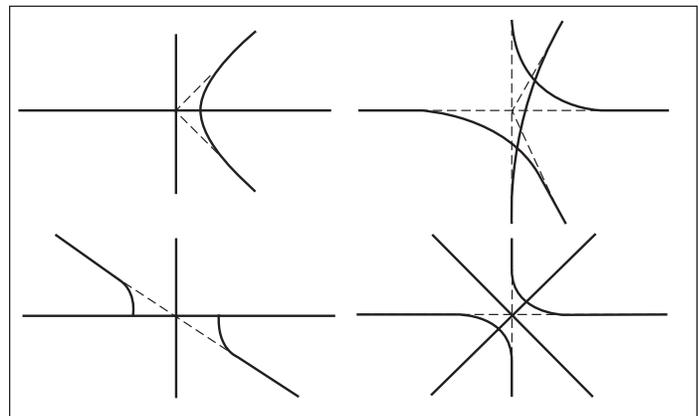
- le virage **protégé** s'effectue à partir d'une voie de virage à gauche exclusive, alors que le trafic opposé est immobilisé par une phase du feu de circulation;
- le virage **permis** s'effectue en profitant de créneaux dans le trafic opposé (ceux qui tournent doivent leur céder le passage). Si le virage se fait à partir d'une voie partagée, il peut se créer une certaine congestion;
- le virage **sans opposition** n'exige pas de phase spéciale car il s'effectue sans que le conducteur n'ait à céder le passage au trafic opposé. C'est le cas par exemple des routes à sens unique, des intersections en T (tige du T) et des intersections à feux avec phases indépendantes sur chaque approche.

INTERSECTIONS À PLUS DE QUATRE BRANCHES – GÉNÉRALITÉS

Comme le nombre de points de conflits augmente de façon significative lorsqu'il y a plus de quatre approches, il s'agit d'un type de configuration à éviter.

Une solution envisageable consiste à modifier la disposition de certaines branches pour créer deux ou trois intersections adjacentes à trois ou quatre branches (figure I-3).

Figure I-3 Transformation d'une intersection à plus de 4 branches



DISPOSITION DES BRANCHES – GÉNÉRALITÉS

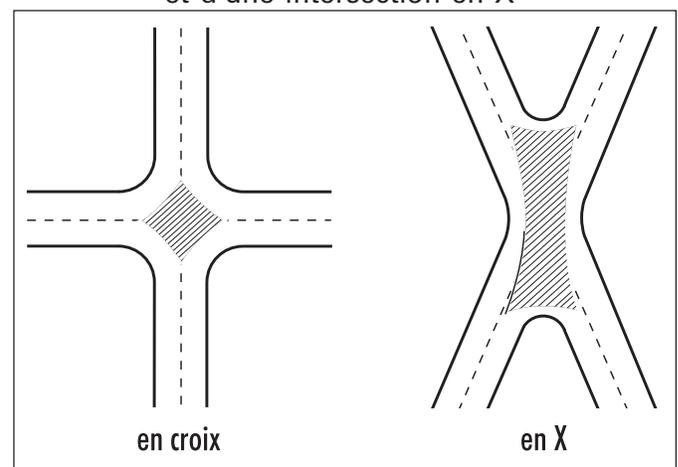
Lorsque les branches sont à angle droit (ou presque) :

- la superficie de l'intersection est minimale;
- le conducteur peut mieux évaluer la distance et la vitesse des autres véhicules;
- la distance (et le temps) de traversée est minimale;

Bien qu'un aménagement en biais puisse parfois favoriser un volume élevé de virages, l'angle entre les branches devrait se situer entre 75° et 105°, surtout si :

- le trafic horaire sur chaque approche est supérieur à 200 véhicules;
- le trafic horaire non prioritaire est supérieur à 200 véhicules;
- deux routes importantes se croisent;
- au moins une des routes comporte plus d'une voie par direction;
- au moins une des routes a une vitesse de conception supérieure à 80 km/h.

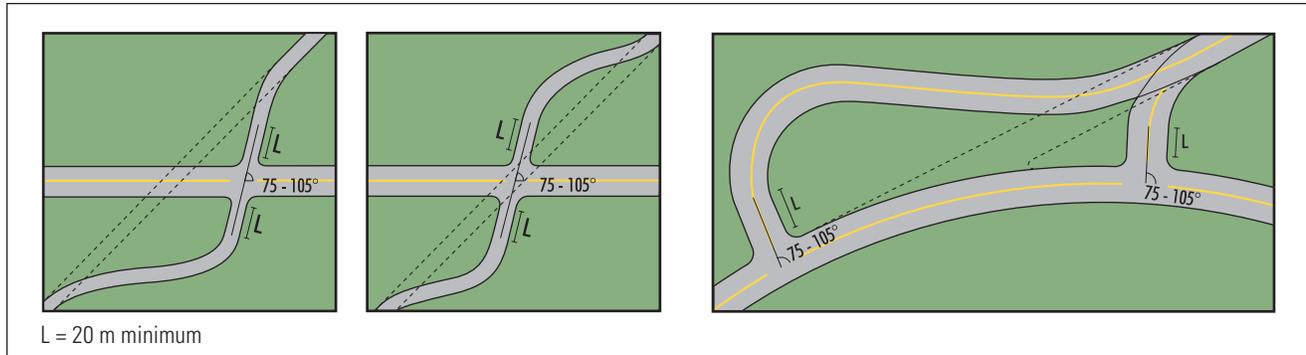
Figure I-4 Superficie d'une intersection en croix et d'une intersection en X



Pour obtenir un tel angle, il peut être nécessaire de corriger le tracé d'au moins une des routes (habituellement la route secondaire, figure I-5).

Il faut inclure au tracé modifié une courte ligne droite d'au moins 20 m (L), à l'intersection même, de façon à améliorer la distance de visibilité et obtenir une meilleure transition de pentes. La section abandonnée de la route doit être démolie et dissimulée.

Figure I-5 Exemples – Réalignements d'intersections



Source: Transportation Association of Canada, 1999

En milieu urbain, ce type de réaménagement est souvent impossible, étant donné le manque d'espace. Si le taux d'accidents est trop élevé, on peut supprimer les mouvements de virages les plus risqués ou installer des feux.

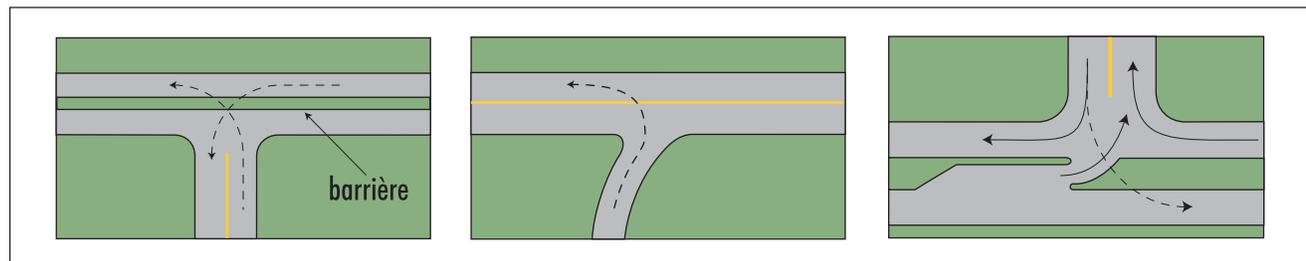
SUPPRESSION DE MOUVEMENTS – GÉNÉRALITÉS

L'interdiction d'effectuer certaines manoeuvres, surtout les virages à gauche (circulation à droite), permet souvent de simplifier la circulation et d'améliorer la sécurité à une intersection. Cette solution peut être envisagée lorsque :

- la distance entre deux intersections est courte comme c'est souvent le cas en milieu urbain;
- les manoeuvres de virages à gauche sont effectuées pour accéder à une entrée privée située à proximité de l'intersection.
- l'intersection a plus de quatre branches;
- la circulation non locale dans un quartier résidentiel doit être éliminée.

Cette interdiction peut être matérialisée par un choix approprié de canalisation et de marquage.

Figure I-6 Interdictions de virages aux intersections



Source: Transportation Association of Canada, 1999

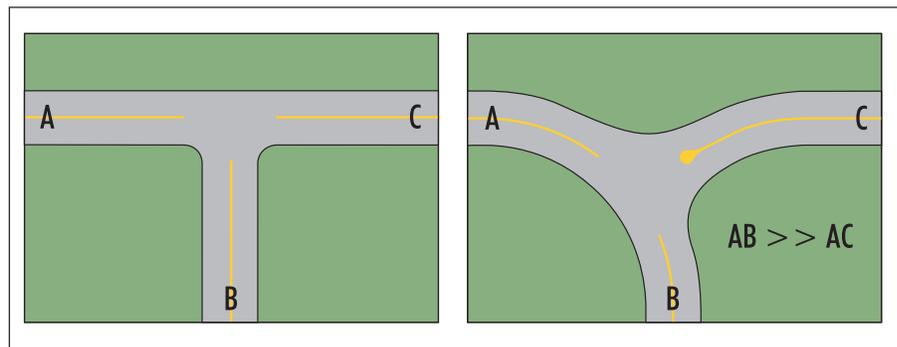
Configuration

La configuration géométrique d'une intersection doit accroître la perception qu'ont les conducteurs des trajectoires des mouvements tout droit et faciliter leur tâche, même s'ils peuvent avoir à freiner.

Intersections à trois branches

Les mouvements tout droit doivent pouvoir s'effectuer en continuité et sans difficulté; l'alignement des approches peut avoir à être modifié, en fonction de l'importance relative des mouvements de circulation, de façon à obtenir un angle de croisement convenable. (figure I-7). La troisième branche doit croiser la route prioritaire à un angle de 75 à 105°.

Figure I-7 Réalignement d'une intersection à 3 branches



Vitesse

Rues urbaines

Sur les itinéraires prioritaires, il faut viser à conserver une vitesse uniforme en traversant les intersections.

Une vitesse de 25 km/h est souhaitable sur les approches contrôlées par un «CÉDEZ LE PASSAGE», ce qui représente une vitesse de conception d'environ 35 km/h. Pour les approches avec «ARRÊT», la vitesse de conception peut encore être plus faible. Notons que, le nombre d'accidents avec piétons aux intersections à feux où la vitesse ne dépasse pas 30 km/h est environ deux fois plus faible qu'à celles où la vitesse est plus élevée. Il est donc recommandé :

- d'éviter les configurations qui encouragent les vitesses élevées sur les approches prioritaires : large profil en travers, voie de virage à droite (qui n'augmentent guère la capacité mais rendent les traverses de piétons et cyclistes plus difficiles);
- d'utiliser des éléments modérateurs de vitesse, c.-à-d. des déviations horizontales ou verticales.

Routes rurales

La vitesse de base des routes rurales, surtout celle des routes prioritaires, doit être choisie en fonction du 85^e centile des vitesses pratiquées.

Un conducteur circulant sur une route prioritaire depuis une longue période pourra se voir surpris s'il doit ralentir à l'approche d'une intersection. Il doit donc être informé suffisamment à l'avance, (c.-à-d. dans le temps et dans l'espace) de la présence de l'intersection.

Il faut éviter les configurations qui favorisent l'adoption de vitesses élevées sur les approches prioritaires (par exemple, plus d'une voie dans chaque direction). Il faut en contrepartie éviter les déflexions trop importantes du profil horizontal de la route, qui peuvent entraîner des pertes de contrôle. De telles configurations doivent être clairement visibles.

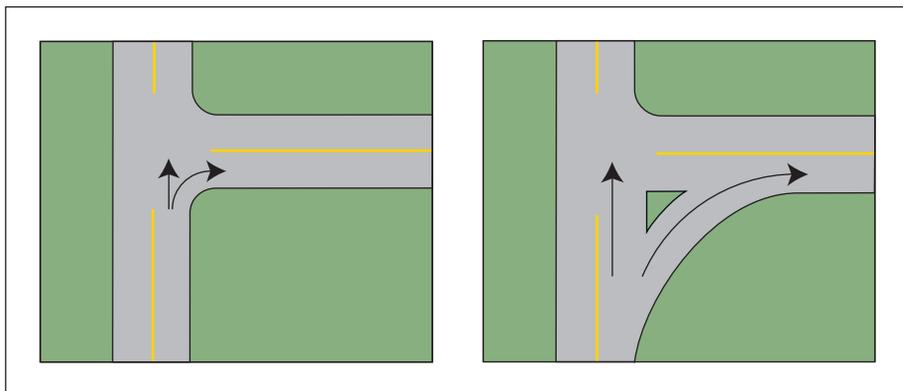
INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES – VIRAGE À DROITE

Le virage à droite s'effectue normalement par un mouvement direct : le véhicule quitte son approche et tourne à droite sur l'autre approche, sans croiser d'autres véhicules. La manœuvre s'effectue dans un seul quadrant.

Si la manœuvre d'insertion est réglementée par un panneau d'ARRÊT, que le volume de virages est faible et que les vitesses le sont aussi (moins de 25 km/h), la manœuvre peut s'effectuer dans les limites de l'intersection.

Si au contraire le volume horaire de circulation sur une des approches de l'intersection est supérieur à 300 véhicules, il faut alors aménager une voie de virage permettant des vitesses d'au moins 25 km/h. C'est dire qu'il faut augmenter le rayon et séparer la voie de virage à droite de la zone de croisement par un îlot directionnel. Un panneau «CÉDEZ LE PASSAGE» doit alors remplacer le panneau d'ARRÊT.

Figure I-8 Virages à droite



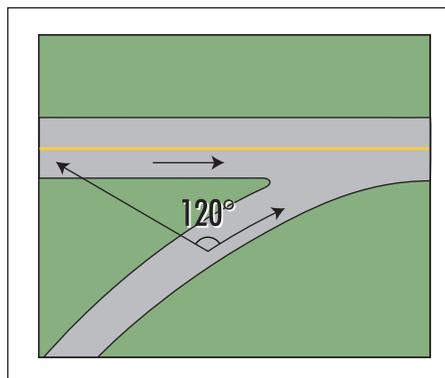
L'aménagement de la voie de virage à droite vers un parcours prioritaire doit se faire à un angle de déflexion supérieur à 60° , pour que le conducteur n'ait pas à tourner la tête sur plus de 120° pour voir si la voie prioritaire est libre.

Si l'insertion s'effectue sans qu'il n'y ait d'arrêt, cet angle doit au contraire être très faible (5° à 10°), pour que le conducteur puisse voir dans son rétroviseur les véhicules qui approchent.

La canalisation d'un virage à droite ne favorise pas la sécurité des piétons (sauf si l'îlot est conçu comme refuge) ni celle des cyclistes (conflits avec les véhicules tournant à droite).

On peut faire précéder la voie de virage à droite d'un *biseau de transition* ou d'une *voie de décélération* si l'on recherche une vitesse de plus de 40 km/h.

Figure I-9 Angle d'insertion



INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES – VIRAGE À GAUCHE

Sans canalisation (aucun traitement)

La façon la plus simple d'effectuer un virage à gauche à une intersection conventionnelle consiste à effectuer un mouvement direct, c.-à-d. à quitter son approche pour entrer sur une approche adjacente par la gauche. Ce type de virage n'est possible que si les volumes de circulation – virages et mouvements tout droit – sont faibles. On l'utilise lorsque l'espace disponible est très restreint ou que les contraintes environnementales sont fortes.

Le véhicule qui tourne à gauche à partir d'une route prioritaire et qui attend (dans la voie directe) un créneau dans le trafic opposé ne doit pas trop nuire à la circulation directe.

Îlot en forme de goutte

Une amélioration facile du traitement accordé aux manœuvres de virage à gauche sans canalisation consiste en l'ajout d'îlots en forme de goutte. Ce type d'îlot est aménagé sur les approches non prioritaires d'une intersection. Cette solution offre plusieurs avantages :

- accroît la perception de l'intersection et de la perte de priorité;
- fait diminuer les vitesses en introduisant une source de tension visuelle et une déflexion importante du parcours;
- facilite l'emplacement de la ligne d'arrêt;
- sert de refuge piéton dans les milieux urbains denses;
- réduit les collisions à angle droit de 30 % à 50 %.

Voie de virage à gauche semi-directe

Une voie de virage à gauche semi-directe permet de remplacer les virages à gauche qui s'effectuent à partir de la route prioritaire par un virage à droite suivi d'une manœuvre de traverse des deux mouvements directs prioritaires. L'attente du créneau de passage s'effectue donc à l'extérieur de la route prioritaire mais l'intersection occupe un plus grand espace.

Comme les véhicules en attente doivent céder le passage à deux mouvements directs, cette solution est moins efficace lorsque les volumes de circulation sont élevés (les créneaux acceptables dans les deux directions de trafic ont peu de chances de coïncider).

En Espagne, ce type d'aménagement est interdit si le DJMA sur la route prioritaire est supérieur à 3 000 véhicules par jour. Le carrefour giratoire à îlot divisé est un autre type d'aménagement permettant d'effectuer les virages à gauche de façon semi-directe, tout en minimisant les retards pour les usagers de la route principale qui effectuent des mouvements directs.

Figure I-10 Virage à gauche – aucun traitement

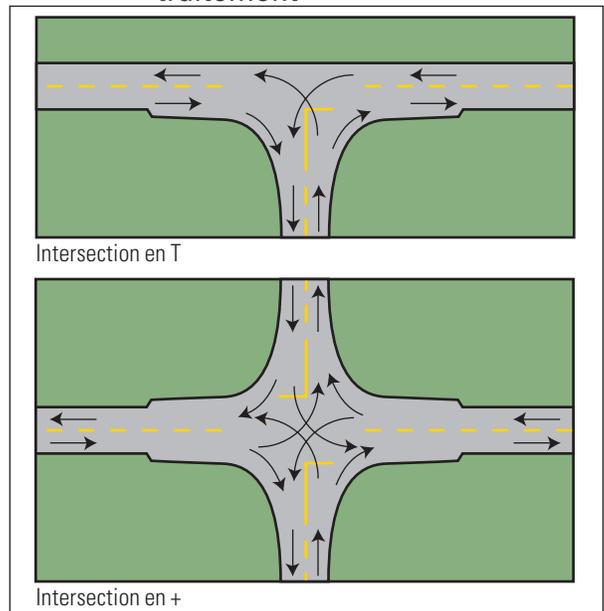


Figure I-11 Îlots en forme de goutte

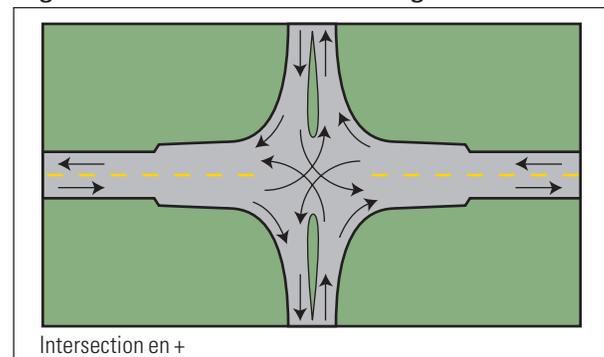
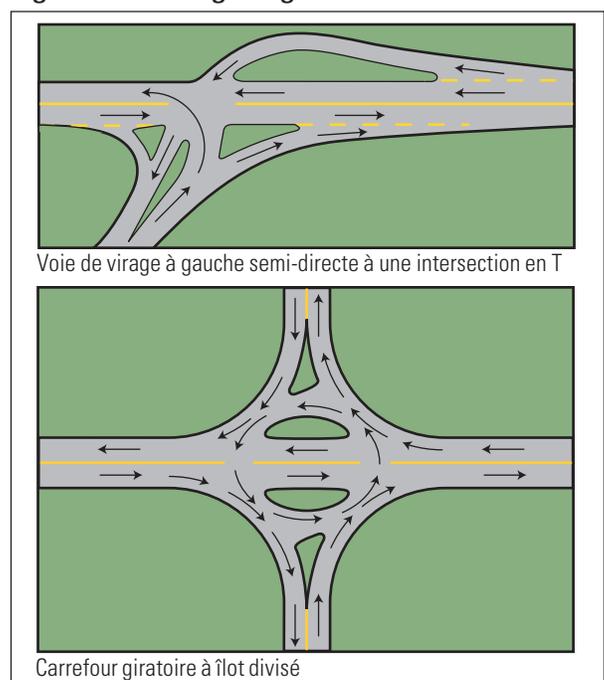


Figure I-12 Virage à gauche semi-direct



Voie centrale de virage à gauche

Avec ce type d'aménagement, les véhicules qui attendent pour tourner à gauche à partir de la route principale peuvent se placer dans une voie centrale supplémentaire qui est précédée d'une voie de décélération. Ils ne croisent ainsi qu'un seul courant de circulation directe au lieu de deux comme dans la voie de virage à gauche semi-directe.

Une voie centrale de virage à gauche réduit de manière efficace les conflits entre les véhicules qui tournent à gauche et ceux qui vont tout droit, améliorant ainsi la capacité et la sécurité.

Sur les routes à chaussées séparées, la voie de virage à gauche centrale peut être aménagée dans le terre-plein central, à condition qu'il soit suffisamment large.

Sur les routes à chaussée contiguë, la voie de virage à gauche peut être séparée du mouvement direct :

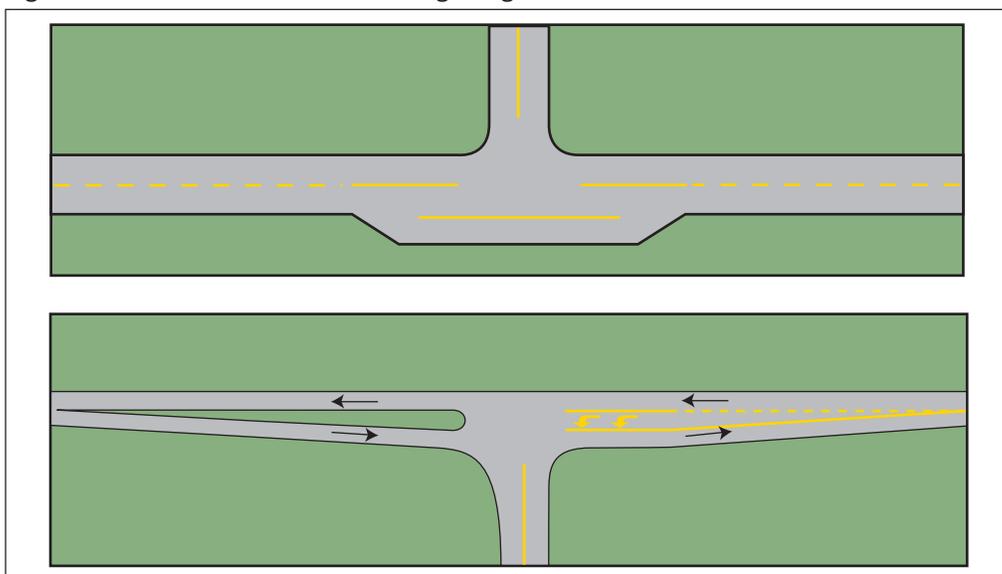
1. par marquage au sol uniquement
 - si la longueur de la voie de virage à gauche est insuffisante pour stocker tous les véhicules effectuant cette manœuvre à l'heure de pointe, la zone hachurée peut servir de tampon, limitant ainsi l'empiètement sur les voies directes;
2. par un îlot central avec bordures qui protège les véhicules effectuant la manœuvre de virage. En milieu rural, ce choix est plus sécuritaire que le marquage au sol seul car :
 - l'intersection est plus visible;
 - les véhicules qui sont dans la voie de virage à gauche sont mieux protégés;
 - la trajectoire de virage à gauche est mieux définie, surtout sur chaussée mouillée;
 - les conflits avec les entrées privées avoisinantes sont réduits.

Intersections à trois branches

Si une voie centrale de virage à gauche n'est pas justifiée à une intersection à 3 branches, on peut y aménager l'accotement de façon à permettre aux véhicules qui effectuent le mouvement direct d'éviter ceux qui attendent pour tourner. On peut aussi y aménager une voie centrale de virage à gauche centrale de dimension restreinte. Sa pleine largeur doit occuper la voie directe originale qui se voit décalée vers la droite.

Dans le cas d'une voie centrale de virage à gauche avec îlot à bordure, le mieux est d'aligner le côté gauche du terre-plein sur la ligne axiale. Ainsi, les véhicules qui effectuent le mouvement direct n'ont pas à modifier leur trajectoire.

Figure I-13 Voies centrales de virage à gauche – Intersections à 3 branches



Source: Transportation Association of Canada, 1999

Intersections à quatre branches

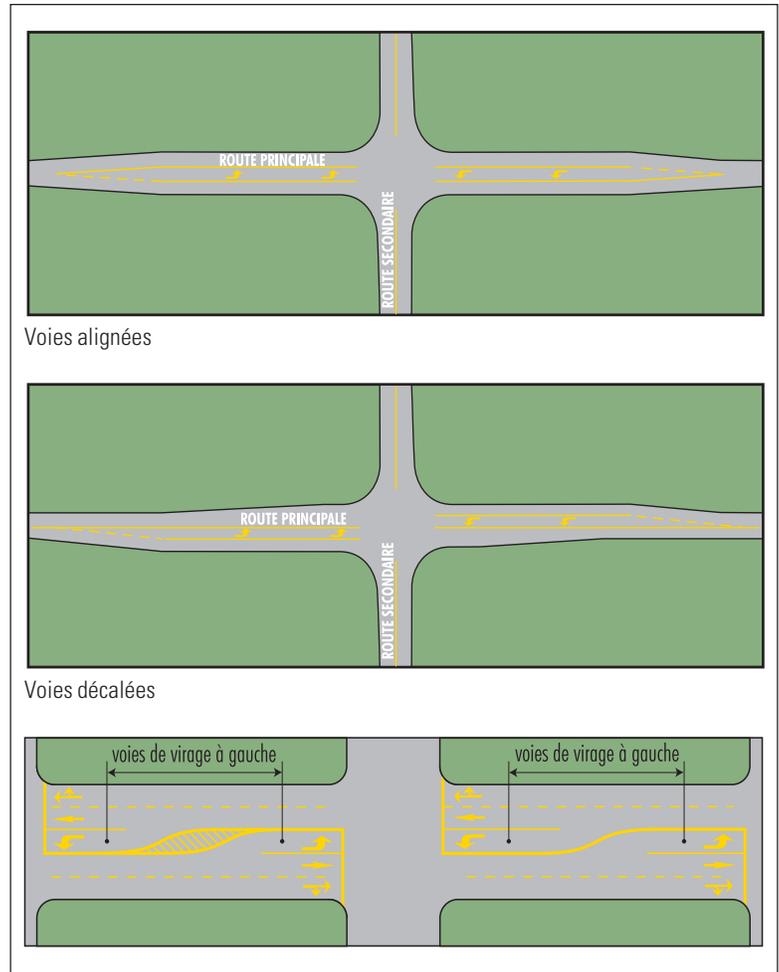
Une intersection à 4 branches peut comporter deux voies centrales de virage à gauche sur la route prioritaire.

Ces voies peuvent être alignées, ce qui constitue le meilleur type d'aménagement pour les intersections à priorité signalée. Il faut cependant s'assurer que la présence de poids lourds ne nuise pas à la visibilité du trafic opposé. Si tel est le cas, la transformation en carrefour giratoire devrait être envisagée.

Les voies de virage à gauche peuvent aussi être décalées. Ce type de configuration accentue le problème de visibilité des véhicules opposés qui circulent tout droit, mais peut être acceptable si l'intersection se trouve au bas d'une pente descendante. Les véhicules qui effectuent le mouvement direct peuvent facilement continuer leur route sans être gênés par les virages à gauche opposés.

Deux intersections rapprochées situées sur un alignement rectiligne peuvent avoir leur voie de virage à gauche dos à dos.

Figure I-14 Voies centrales de virage à gauche
Intersections à 4 branches



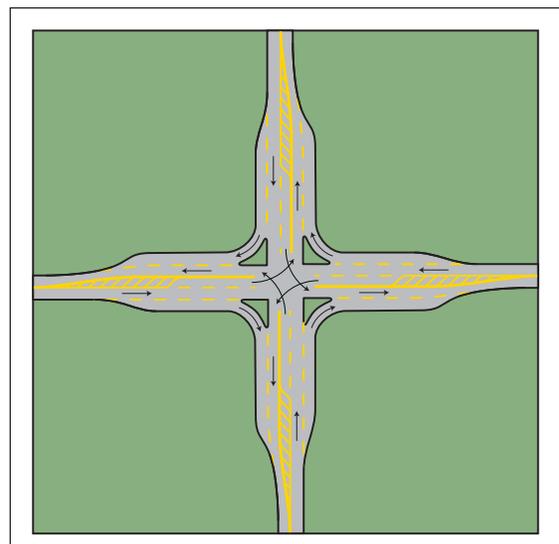
Source: Transportation Association of Canada, 1999

La configuration « indonésienne »

Les deux manœuvres de virage à gauche qui s'effectuent à partir de la route prioritaire ne doivent pas se gêner, surtout en présence de feux de circulation. La configuration dite à l'indonésienne, dans laquelle ils ne se croisent pas, peut être utile à cet effet.

Si le volume de circulation est important, on peut s'attendre à des voies centrales de virage sur chacune des approches de l'intersection. Mais il s'agit en général, d'un type d'aménagement qui exige des feux pour déterminer laquelle des deux paires de virages à gauche a la priorité. Il s'agit d'un type d'aménagement urbain.

Figure I-15 Configuration indonésienne



Certaines intersections à feux avec de forts volumes de virages à gauche peuvent nécessiter deux et même parfois trois voies de virage à gauche. De tels aménagements présentent à la fois des avantages et des inconvénients.

Avantages :

- diminution de la congestion et des délais;
- diminution des files d'attente et des conflits;
- réduction de la durée de la phase verte de virage (le temps gagné peut être affecté à d'autres mouvements).

Inconvénients :

- le potentiel de conflits avec les piétons augmente;
- sur la route transversale, en aval de l'intersection, la répartition des véhicules entre les voies est inégale;
- la délimitation des trajectoires dans la zone où s'effectuent les virages n'est pas claire;
- en général, les poids lourds manquent d'espace pour manœuvrer;
- il existe peut-être une solution moins coûteuse.

Longueur des voies centrales de virage à gauche

Aux intersections sans feux, la longueur de stockage doit pouvoir recevoir au minimum le nombre moyen de véhicules pouvant s'accumuler durant une période de deux minutes; elle ne doit pas être inférieure à 15 mètres.

Aux intersections à feux, la longueur de stockage dépend de la durée des phases et des cycles ainsi que du volume de véhicules tournant. Si la vitesse de conception de l'approche ne dépasse pas 60 km/h, le stockage doit contenir au moins 1,5 fois le nombre moyen de véhicules qui attendent de tourner pendant un cycle sans congestion et deux fois plus si cette vitesse est plus élevée.

INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES - LES ÎLOTS

Les îlots délimitent l'espace interdit aux véhicules : leur partie intérieure doit faire contraste avec le reste de la chaussée. Ils permettent de :

- séparer les différents mouvements de circulation : mouvements directs, virages à gauche et virages à droite;
- réduire les surfaces de pavage inutiles: rayons de virage excessifs, configurations en biais;
- réduire et séparer les zones de conflits (pour que les conducteurs n'aient pas plus d'un choix à faire à la fois);
- réduire les conflits avec les véhicules tournant à droite. Toutefois, dans les zones urbaines congestionnées :
 - ce type d'îlot est peu utile car les véhicules qui tournent à droite s'insèrent assez facilement dans la circulation de la rue transversale;
 - ces îlots peuvent être problématiques pour les piétons qui ont alors une plus grande distance à traverser;
- préciser les angles de croisement ou de convergence;
- réduire les vitesses;
- empêcher les mouvements non voulus, dangereux ou à contresens;
- créer des zones protégées pour le stockage des véhicules qui tournent, ce qui permet aux conducteurs de ralentir et d'attendre à l'extérieur des voies directes;
- restreindre l'accès aux propriétés riveraines.

Le nombre d'îlots doit être maintenu au minimum nécessaire pour remplir les fonctions assignées car des configurations routières simples sont :

- mieux comprises par les conducteurs;
- mieux adaptées aux changements de conditions de la circulation;
- plus faciles à construire.

Les formes et dimensions des îlots doivent :

- favoriser les principaux mouvements de circulation;
- favoriser l'adoption de vitesses compatibles avec un mode d'exploitation sécuritaire, surtout lorsque des conflits avec piétons sont possibles;
- réduire les conflits entre véhicules.

Les très grands îlots, semblables à ceux que l'on voit entre les bretelles des échangeurs, doivent avoir un accotement. Les plantations qu'on y retrouve ne doivent pas nuire à la visibilité. Le musoir de ce type d'îlot doit être décalé de 0,5 à 1,0 mètre du bord de l'accotement, surtout s'il est précédé d'une voie auxiliaire.

Il ne faut pas aménager d'îlot lorsque la visibilité est restreinte (il faut au contraire que la **distance de visibilité d'anticipation** soit satisfaite). Les musoirs d'îlots situés à proximité d'une courbe verticale saillante ou d'une courbe horizontale devaient être avancés pour que les conducteurs qui s'en approchent puissent mieux les voir et les reconnaître.

Délimitation

Les îlots peuvent être délimités par marquage ou par bordures.

Par marquage

Il est plus facile de modifier un îlot délimité par marquage pour l'adapter aux trajectoires réelles des véhicules. Même si l'on sait qu'un îlot avec bordure sera éventuellement implanté, on peut au préalable procéder à un marquage temporaire pour vérifier les trajectoires et améliorer la configuration finale de l'îlot.

Le désavantage de l'îlot par marquage est qu'il est plus difficile à voir dans certaines conditions (p. ex. les soirs de pluie, sur chaussée enneigée). L'utilisation de matériaux hautement réfléchissant peut réduire certains de ces problèmes (p. ex. délinéateurs de surface). Les îlots par marquage sont mieux adaptés aux milieux urbains et périurbains où les vitesses sont moins élevées et où les rues sont éclairées.

Par bordures

Les îlots de bonne dimension (> 6 m²) sont souvent délimités par bordures, ce qui les rend plus visibles, même de nuit. Ce type d'îlot remplit aussi les fonctions suivantes :

- permet d'ériger et de protéger les équipements routiers comme les panneaux de signalisation, les feux ou les lampadaires. La taille et la configuration de l'îlot ne doivent pas nuire à la visibilité de la signalisation;
- sert de refuge aux piétons entre les différents mouvements de circulation, surtout lorsque la distance à traverser est grande (> 25 m) ou lorsque la proportion de personnes âgées ou handicapées est élevée. Pour pouvoir servir de refuge piéton, l'îlot doit mesurer :
 - au moins 1,2 m de largeur (mieux encore, 2,5 m);
 - au moins 9 m² (davantage s'il est utilisé par des personnes en fauteuil roulant).

On ne doit pas aménager d'îlot de refuge s'il se situe à moins de 2 voies d'un autre îlot ou de la bordure de la route.

La bordure de l'îlot doit être décalée de 0,5 à 1,0 m du bord de la chaussée. Les coins doivent être arrondis en utilisant un rayon d'au moins 0,5 m. Le musoir, est évasé en forme de parabole (15 :1) et il doit être décalé de 1 à 2 m par rapport à une voie directe et de 0,5 à 1,0 m par rapport à une voie de virage.

Les îlots avec bordures sont utilisés en milieu rural et, de façon moins fréquente en milieu urbain. Dans ce dernier type de milieu, il faut s'assurer que la bordure soit franchissable; de plus la dimension de l'îlot doit demeurer restreinte et ils devraient être éclairés.

Si le nombre de semi-remorques est important et qu'il y a peu de piétons – comme dans les parcs industriels par exemple – il vaut mieux éviter les îlots à bordure car ils gênent les mouvements tournants.

Les paragraphes qui suivent décrivent deux types d'îlots :

îlots séparateurs

îlots directionnels

Îlots séparateurs

Sur les routes à chaussée contiguë, ce type d'îlot est utilisé aux intersections pour séparer le trafic opposé. Il sert aussi :

- au contrôle des virages à gauche (surtout aux intersections en biais);
- à l'aménagement d'une voie centrale de virage à gauche;
- de refuge aux piétons, qui peuvent ainsi traverser une route large en deux étapes, améliorant ainsi la sécurité et la capacité (les véhicules n'ont pas à attendre que les piétons aient traversé toute la route).

En zone urbaine, des plantations peuvent être aménagées sur l'îlot séparateur à la condition qu'elles ne nuisent pas à la visibilité. L'entretien de ces plantes peut cependant poser problème si l'îlot est étroit.

La longueur minimale de l'îlot séparateur est de 30 m en milieu rural, 4 m en milieu urbain. Les courts îlots doivent être précédés de marquages, hachures, délinéateurs de surface ou balises cylindriques.

Îlots directionnels

On utilise ces îlots pour simplifier la tâche des conducteurs. Ils sont placés entre les trajectoires des véhicules qui roulent dans une même direction, indiquant clairement aux conducteurs le tracé à suivre et évitant les grandes surfaces pavées inutiles. Le nombre de ces îlots doit être restreint, afin de ne pas créer de confusion chez les conducteurs.

Ils peuvent être de différentes formes mais le plus souvent, ils sont triangulaires avec des côtés droits ou légèrement incurvés. Leur apparition inattendue à proximité des voies de circulation est à éviter.

INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES – VOIES DE CHANGEMENT DE VITESSE

La nécessité d'implantation de voies de changement de vitesse résulte des différences entre les vitesses de base des voies principales et celles des voies de virage. Leur présence, sur les routes principales en milieu rural, facilite l'entrée (voies d'accélération) ou la sortie (voie de décélération) en permettant aux manœuvres de convergence et de divergence de s'effectuer en dehors des voies de circulation principale. Des voies de changement de vitesse devraient être aménagées sur les types de routes rurales suivants :

- routes à chaussées séparées;
- routes avec plein contrôle des accès;
- routes à chaussée contiguë, vitesse de base ≥ 80 km/h;
- routes à chaussée contiguë, vitesse de base ≥ 60 km/h et DJMA > 1 500 véhicules.

En milieu urbain, une voie de changement de vitesse n'est pas toujours souhaitable car elle peut affecter la sécurité des piétons qui traversent en augmentant la distance qu'ils ont à franchir. Les véhicules qui tournent à droite, surtout les poids lourds, peuvent représenter un problème pour les cyclistes.

Voies de décélération

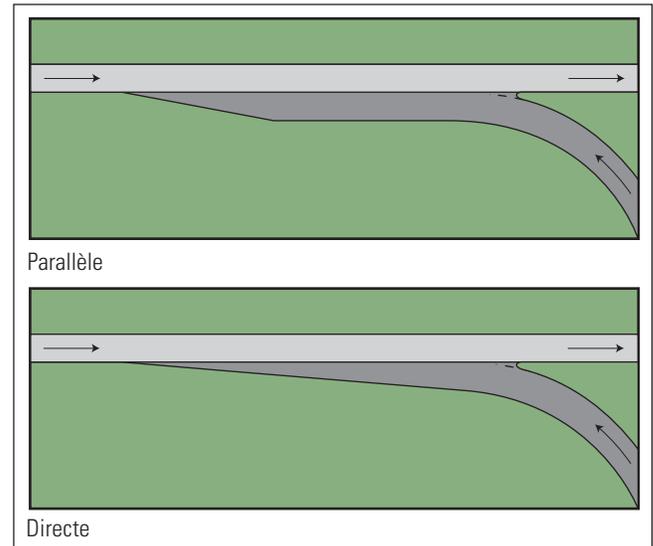
On distingue deux types de configurations (figure I-16) :

Parallèle, qui consiste en l'ajout d'une voie précédée d'un biseau de transition de longueur égale à la distance parcourue pendant trois secondes à la vitesse V_{85} .

Directe, qui s'éloigne des voies de circulation principales avec un faible angle. L'implantation de ce type de voie de décélération dans une courbe à gauche peut prêter à confusion.

L'accotement de la voie de décélération doit être pavé pour que ceux qui s'y engagent par erreur puissent corriger leur trajectoire.

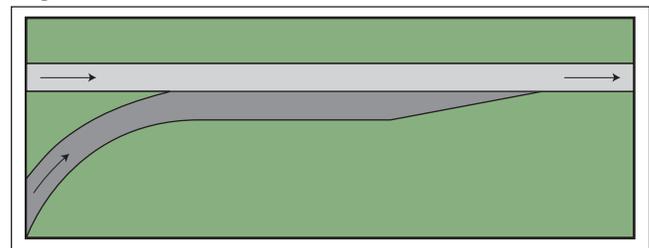
Figure I-16 Voies de décélération



Voies d'accélération

Elle doit toujours être de type parallèle (figure I-17). La longueur du biseau de transition qui la suit doit être égale à la distance parcourue à la vitesse V_{85} pendant six secondes.

Figure I-17 Voie d'accélération



BISEAUX DE TRANSITION

Un biseau de transition devrait être aménagé aux intersections rurales où la vitesse de base est d'au plus 60 km/h, lorsqu'une voie de changement de vitesse n'est pas justifiée. Ce biseau accroît la sécurité des mouvements de sortie (parfois aussi de ceux d'entrée).

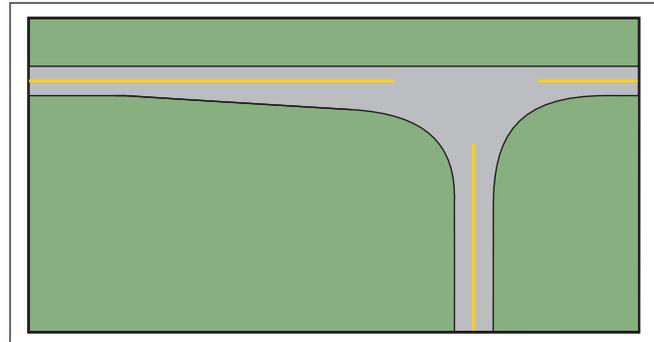
En zone urbaine, l'aménagement de biseaux de transition est moins recommandé car il augmente la largeur que les piétons ont à franchir et entraîne des conflits entre les cyclistes qui circulent tout droit et les véhicules qui tournent à droite.

Un biseau de sortie peut être justifié si les manœuvres de virages à droite représentent plus de 10 % à 20 % du volume total de l'approche.

Aux intersections canalisées avec priorité signalée, un biseau de transition peut être aménagé pour les usagers de l'approche secondaire (l'insertion est contrôlée par un panneau «cédez»). Aux intersections à feux et à vitesse élevée, les entrées devraient plutôt s'effectuer, en autant que possible, par une voie d'accélération.

La distance entre un biseau d'entrée et la sortie suivante ne doit pas être inférieure à 250 mètres. Sinon, il faut jumeler l'entrée et la sortie en une voie auxiliaire.

Figure I-18 Biseau de transition



CARREFOURS GIRATOIRES

GÉNÉRALITÉS

Lorsque toutes les approches sont d'importance comparable (ce qui est souvent le cas en milieu urbain ou périurbain) et lorsque les réductions de vitesses ne portent pas à conséquence, le carrefour giratoire s'avère souvent une solution intéressante.

A un carrefour giratoire, les véhicules roulent en sens anti-horaire¹¹ dans une voie circulaire (anneau) entourant un îlot central.

Les conducteurs qui veulent pénétrer dans l'anneau doivent céder le passage à ceux qui s'y trouvent déjà et profiter d'un créneau pour s'y insérer; ils quittent l'anneau lorsqu'ils arrivent à la sortie qu'ils veulent prendre. La circulation dans un carrefour giratoire repose sur ce «cédez le passage».



Simple et d'exploitation facile, le giratoire est bien compris des conducteurs. En outre, ceux qui ont à corriger un mauvais choix de destination peuvent y effectuer un tour additionnel. Certaines études montrent qu'au sortir d'un giratoire, les conducteurs n'ont pas l'impression d'avoir des retards à rattraper et conséquemment, les accélérations et les vitesses n'y sont pas très élevées.

Les carrefours giratoires sont particulièrement indiqués lorsque la somme des DJMA entrants est supérieure à 8 000 véhicules. La capacité y est plus grande qu'aux intersections à priorité signalée et les retards plus courts (sauf aux heures de pointe). Les carrefours giratoires sont aussi recommandés quand les mouvements tournants sont plus importants que les mouvements directs.

Les carrefours giratoires sont préférables aux intersections avec feux dans les situations suivantes :

- en milieu rural, lorsque les vitesses d'approche sont élevées, que les volumes de circulation sont relativement constants et que les contraintes d'espace ne sont pas très fortes;
- sur les routes à chaussées séparées ayant un volume de circulation équilibré.

Sur les routes rurales à chaussées séparées, les carrefours giratoires contribuent à modérer les vitesses et favorisent donc les usagers vulnérables (piétons, cyclistes).

Les carrefours giratoires peuvent aussi être utilisés pour remplacer des intersections à branches multiples (jusqu'à six), surtout lorsque les virages à gauche sont nombreux.

D'autres facteurs de sécurité jouent aussi en faveur des carrefours giratoires :

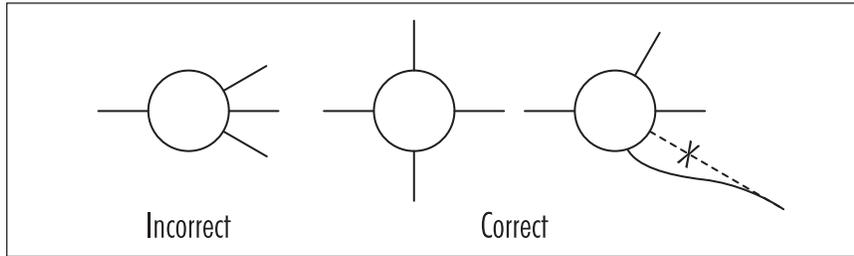
- la nécessité d'un aménagement géométrique qui pourra créer une coupure au niveau du comportement des conducteurs, comme par exemple une transition entre deux types de routes, entre une zone rurale et une zone urbaine, etc.;
- le traitement de problèmes de sécurité liés à d'autres types d'intersections;
- l'élimination des virages à gauche vers les entrées privées situées à proximité et en amont de l'intersection (remplacés par un demi-tour au giratoire et un virage à droite à l'entrée privée).

¹¹ Dans les pays où la conduite est à droite.

Configuration des branches

De façon souhaitable, l'espacement des branches autour d'un carrefour giratoire doit être uniforme, ce qui peut nécessiter un certain réalignement du tracé.

Figure I-19 Configuration des branches d'un carrefour giratoire



Vitesse

Il faut encourager les mesures favorisant des diminutions de vitesse, ou à tout le moins, qui ne les font pas augmenter. Il faut toutefois éviter :

- les approches en **S**, qui placent le giratoire à l'extérieur du champ de vision confortable des conducteurs et le rende plus difficilement perceptible;
- le trop grand nombre de dispositifs d'avertissements – panneaux de signalisation, balises et surtout ralentisseurs de type dos d'âne (bien conçus, les giratoires sont des entités routières très sécuritaires et une utilisation non justifiée de dispositifs d'avertissements peut réduire leur crédibilité et leur efficacité).

Les carrefours giratoires ne doivent pas être utilisés dans le seul but de modérer les vitesses (p. ex. intersection giratoire à deux branches).

Types de carrefours giratoires

Les deux principaux types de carrefours giratoires, qui sont décrits avec plus de détails dans les pages suivantes, sont les **giratoires ordinaires** et les **mini giratoires**. Les autres types possibles incluent le carrefour giratoire à feux et le carrefour giratoire double. Ce dernier type est particulièrement utile :

- pour relier deux routes parallèles séparées par un obstacle linéaire tel une rivière, une voie ferrée ou une autoroute;
- aux intersections très asymétriques ou en biais, lorsqu'un autre type d'intersection exigerait une modification majeure des approches et qu'un carrefour giratoire ordinaire occuperait un espace démesuré;
- pour remplacer un carrefour giratoire ordinaire congestionné.

En comparaison aux intersections à plus de quatre branches, un carrefour giratoire double offre donc une plus grande capacité, un niveau de sécurité acceptable et une utilisation efficace de l'espace.



CARREFOURS GIRATOIRES ORDINAIRES

Îlot central

Le carrefour giratoire ordinaire comporte un îlot central d'au moins 4 m de diamètre, qui est habituellement délimité par bordures.

Cet îlot doit être de forme circulaire ou tout au plus elliptique (avec un rapport axe mineur/majeur d'au moins 3/4). Si la forme de l'îlot présente des variations importantes du rayon de courbe de l'anneau, la vitesse des véhicules augmente dans les sections moins courbe, ce qui accroît la fréquence d'accidents.

Les carrefours giratoires de dimension restreinte sont plus sécuritaires, même ceux ayant un îlot central de 10 m¹² de diamètre. Au-delà de 20 m, la capacité n'augmente plus guère. Un semi-remorque peut très bien circuler dans l'anneau d'un giratoire ayant un diamètre extérieur de 28 m. Il faut éviter les îlots de très grande dimension (60 m ou plus) qui sont parfois aménagés lorsque l'on envisage une modification ultérieure du giratoire en échangeur : mieux vaut un giratoire de dimension plus restreinte, quitte à devoir le sacrifier par la suite. Le diamètre de l'îlot central doit avoir 1,0 m de moins que la voie de l'anneau.

Aménagement de l'îlot

En **zone rurale**, il faut éviter les éléments suivants, tout au moins pour les nouveaux giratoires :

- obstacles rigides, compacts ou agressifs : roches, sculptures en pierre ou en béton, lampadaires, structures de drainage, arbres (pas les arbustes), etc.;
- autres éléments susceptibles d'arrêter brutalement un véhicule en perte de contrôle : fossés et pentes supérieures à 15 %, barrières, bordures infranchissables qui peuvent servir de tremplin et accroître la gravité des accidents, surtout ceux impliquant un deux-roues.

Ce qui ne devrait pas empêcher les aménagements d'îlots visant à les rendre plus perceptibles ou simplement à les décorer : pente douce (moins de 15 %), végétation basse, sculptures légères ou fragiles, fontaines, etc.

En **zone urbaine**, les mêmes principes s'appliquent, avec quelques variantes :

- la pente peut aller jusqu'à 25 %;
- on peut tolérer des obstacles un peu plus rigides (dans certains cas).



¹² Sauf peut-être un très petit carrefour giratoire ayant des approches évasées trop larges.

Entrée

La fréquence d'accidents à un carrefour giratoire dépend beaucoup de la vitesse à l'entrée et dans l'anneau. Le rayon minimum de la trajectoire qui passe à 1 m de l'îlot central détermine cette vitesse (figure I-20).

Pour éviter les trajectoires trop directes, les éléments suivants doivent être adaptés au diamètre de l'îlot central : la taille de l'îlot séparateur aux entrées du giratoire, la largeur de l'anneau, les rayons d'entrée et de sortie.

Le rayon minimal de la trajectoire doit se situer entre 6 m et 100 m; une valeur de 20 m étant idéale pour assurer une vitesse d'entrée raisonnable.

La déflexion s'obtient par la présence de l'îlot central et habituellement aussi, par des îlots séparateurs qui sont situés sur les approches. Elle doit être comprise entre 20° et 60° , avec une valeur optimale de 25° .

Si la déflexion est trop faible, les vitesses d'entrée sont plus élevées et le conducteur qui entre doit regarder par-dessus son épaule pour apercevoir les créneaux entre les véhicules qui sont déjà dans l'anneau.

Si la déflexion est au contraire trop grande, le conducteur doit aborder les conflits comme il le fait à une intersection ordinaire plutôt que comme une insertion.

On peut généralement obtenir une déflexion adéquate en décalant la ligne axiale de l'approche vers la gauche de l'îlot central.

Figure I-20 Rayon de trajectoire à un giratoire

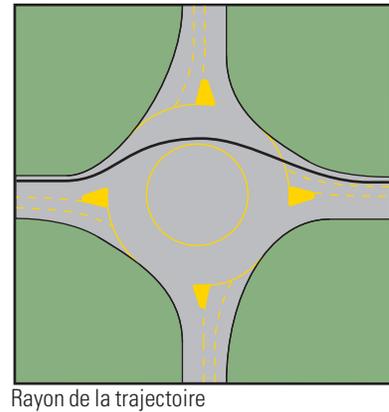
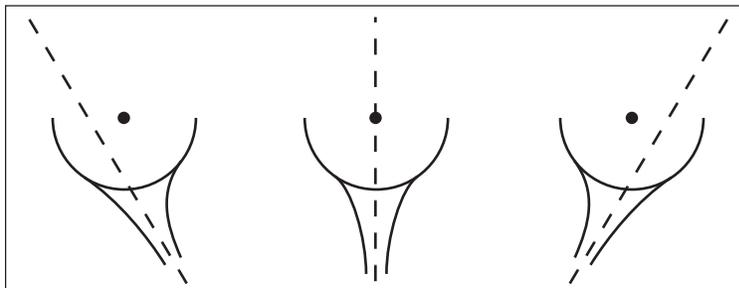


Figure I-21 Déflexion à l'entrée d'un carrefour giratoire



Nombre de branches

Les carrefours giratoires ordinaires devraient en général avoir trois ou quatre branches.

Avec 3 branches, ces carrefours opèrent très efficacement (mieux que les intersections à feux), si les débits sont bien répartis entre les branches.

S'il y a plus de quatre branches, les conducteurs peuvent avoir de la difficulté à bien évaluer la situation et de plus, le giratoire doit être de plus grande dimension, ce qui peut avoir pour effet d'augmenter les vitesses. Dans un tel cas, l'aménagement d'un carrefour giratoire double peut être préférable.

Nombre de voies

Sur une route rurale à plus d'une voie par direction, la présence du giratoire peut être mise en évidence en fermant la voie d'extrême gauche.

Si le giratoire est facilement visible et si la déflexion des approches permet de réduire adéquatement la vitesse des véhicules qui y entrent, des voies additionnelles à l'entrée peuvent :

- permettre à plus d'un véhicule d'entrer simultanément dans le giratoire;
- offrir une plus grande flexibilité en cas d'augmentation du volume de circulation;
- permettre le dépassement d'un véhicule arrêté;
- faciliter les manœuvres des longs véhicules.

Il n'est pas conseillé d'ajouter ces voies du côté gauche ni d'ajouter :

- plus de deux voies dans une entrée bidirectionnelle à deux voies;
- plus de quatre voies dans une entrée à plusieurs voies.

La longueur minimale des voies supplémentaires est de 5 m en zone urbaine et de 25 m en zone rurale. La longueur de l'évasement ne doit pas dépasser 100 m.

Largeur des voies

La largeur des voies détermine la capacité à l'entrée des carrefours giratoires. Règle générale, l'entrée doit être plus large en zone urbaine.

La largeur minimale d'une voie d'entrée est de 2,5 m (à la ligne d'arrêt). Les voies supplémentaires doivent être différenciées dès qu'elles atteignent 2 m de largeur. S'il y a des véhicules lourds, des voies plus larges sont préférables : trois voies de 3,33 m valent mieux que quatre de 2,50 m.

Une entrée très large augmente le risque de perte de contrôle. Les largeurs modérées sont plus sécuritaires car elles limitent :

- les vitesses des véhicules dans l'anneau;
- les distances que les piétons ont à franchir.

En conséquence, il peut être utile, à un carrefour giratoire rural sans problème de capacité, de réduire une entrée de deux voies à une seule voie, du moins dans un nouveau lotissement ou dans un lotissement existant ayant un problème de sécurité. La même chose vaut en milieu urbain : on pourra toujours élargir subséquemment.

Accotement

L'entrée d'un giratoire est généralement entre bordures et l'accotement devrait finir avant l'évasement. Le plus simple consiste à commencer la bordure à l'extérieur de l'accotement et à l'évaser graduellement.



Dévers

À l'entrée d'un giratoire, le dévers doit être fonction de la courbe de la trajectoire des véhicules et de leur vitesse, sans dépasser 5 %. Aux lignes de "CEDEZ le PASSAGE", le dévers peut être réduit au minimum nécessaire pour les besoins de drainage car la déflexion de la trajectoire a pour effet de réduire la vitesse.

L'anneau

Largeur

L'anneau doit être de largeur constante et légèrement supérieure (jusqu'à 20 %) à la largeur maximale des entrées.

Tableau 1-2 Largeurs recommandées – Anneau et diamètre extérieur (Espagne)

DIAMÈTRE DE L'ÎLOT CENTRAL (m)	LARGEUR DE L'ANNEAU (m)	DIAMÈTRE EXTÉRIEUR (m)
4	12,0	28,0
6	11,4	28,8
8	10,9	29,8
10	10,4	30,8
12	10,0	32,0
14	9,6	33,2
16	9,3	34,6
18	9,0	36,0

Il ne doit y avoir aucun marquage de voie dans l'anneau.

Dévers

Dans l'anneau, il ne doit pas y avoir de dévers pour compenser la force centrifuge, sauf une pente transversale pour le drainage d'environ 2 % (cette pente peut être ramenée à 1,5 % ou même 1,0 % si le giratoire est dans une pente), évitant ainsi les zones de transition de dévers qui peuvent nuire à la circulation des poids lourds.

Ni les dévers vers l'îlot central (à moins qu'il n'y ait un fossé dangereux), ni les dévers à double pente ne semblent avoir d'influence négative sur la sécurité. L'aménagement le plus souhaitable pourrait être un dévers vers l'extérieur du giratoire.

Dans un carrefour giratoire ordinaire, il faut éviter, dans la mesure du possible, les contre-dévers dans les trajectoires principales.

Sortie

Les sorties d'un giratoire doivent compter au moins autant de voies que la route sur laquelle elles débouchent. Il faut, si possible, ajouter une voie supplémentaire à droite, fermée par une transition linéaire, d'une longueur de 15 à 20 fois sa largeur. En pente ascendante, il faut l'allonger pour réduire la perturbation causée par les véhicules lourds.

Pour faciliter les sorties, le rayon de la bordure intérieure ne doit pas être inférieur à 20 m ou, mieux encore, à 40 m. En présence de piétons, il faut cependant éviter les trop grands rayons qui favorisent des vitesses de sortie élevées. Une sortie à chaussée unique doit avoir au moins 6,0 m de largeur près de l'îlot séparateur, pour permettre le dépassement d'un véhicule arrêté.

À la sortie, le dévers favorise l'accélération. Comme pour les entrées, la pente transversale près de l'anneau ne doit pas dépasser le minimum nécessaire au drainage. Si la sortie est suivie d'une courbe à gauche, son dévers ne doit pas être atteint trop rapidement et il doit être limité pour éviter que les véhicules ne se déportent dans la voie opposée.

Voie réservée de virage à droite

Ce type de voie permet aux conducteurs de prendre la première sortie après leur entrée sans devoir céder le passage aux véhicules circulant dans l'anneau du giratoire. On ne doit implanter cette voie spéciale que si :

- cette manœuvre est complétée par plus de la moitié du trafic d'entrée à l'heure de pointe ou plus de 300 véhicules par heure;
- il n'y a pas d'entrée privée le long de cette voie spéciale;
- l'entrée du carrefour giratoire est congestionnée; d'autres mesures devraient d'abord être mises en œuvre, tel l'élargissement des voies.

Parce qu'elle est plus complexe et moins lisible, la voie spéciale tourne-à-droite risque d'être moins sécuritaire, surtout pour les piétons qui doivent la traverser.

Cette voie ne doit pas encourager les vitesses élevées : elle doit mesurer entre 3,0 et 3,5 m de largeur. Il faut aussi s'assurer, surtout si elle est séparée de l'anneau du giratoire par une bordure, qu'elle permette la circulation des longs véhicules.



Source : Ministère des Transports du Québec (M. Séguin)

MINI-CARREFOURS GIRATOIRES

Les mini-giratoires ont un îlot central de moins de 4 m de diamètre qui doit être de forme circulaire et facile à franchir (par les camions d'incendie, par exemple). Conséquemment, il ne doit pas contenir de panneau, balise, réverbère ou autre équipement de la route pouvant constituer un obstacle.

L'îlot central est habituellement fait de béton bitumineux, de béton de ciment Portland ou de pavés. Il est en général entouré d'un cercle de pavés, 5 mm au-dessus du niveau de l'anneau, ou d'un anneau métallique surélevé d'au plus 15 mm. L'îlot central peut être préfabriqué et fixé au corps de la chaussée par des résines époxydes. Il doit être peint en blanc réfléchissant. Les matériaux qui ne font pas contraste avec la chaussée adjacente ne sont pas faciles à voir quand les conditions de visibilité sont mauvaises.

La couronne au centre doit être aussi grande que possible, sans dépasser 15 cm de hauteur. La combinaison de cette couronne et d'un certain contre-dévers de la voie de ceinture rend le mini-giratoire plus visible.

Le diamètre extérieur du mini-giratoire ne doit pas dépasser 28 m (diamètre suffisant pour les véhicules lourds de grande dimension).

Ce type de carrefour ne devrait être utilisé que si la vitesse est d'au plus 50 km/h sur toutes les approches.

Son entrée peut être évasée ou non. Même si les déflexions sont faibles en général, la perte de priorité rend le mini-giratoire sécuritaire. La déflexion peut être quelque peu améliorée par un marquage de la chaussée et par l'utilisation de petits îlots séparateurs, dégagés de tout objet à l'exception des panneaux de direction essentiels.

La plupart des mini-giratoires impliquent des virages serrés qui produisent des marques de pneus prononcées : il faut les inspecter régulièrement afin de s'assurer que l'îlot central demeure intact et bien visible.

Le faible coût des mini-giratoires en fait une solution très efficace pour améliorer les intersections urbaines qui présentent à la fois des problèmes de capacité et de sécurité.



Source : M. St-Jacques

BIBLIOGRAPHIE

- America Association of State Highway and Transportation Officials (1997)** *Highway safety design and operations guide*, Washington, DC., 118 p.
- Angella, C. et Fiorentino, M.C. (1987)** *Carrefours sur routes interurbaines à faible trafic: sécurité et aménagements. E.N.T.P.E.* (France).
- Aubin, H. et Gambard, J.M. (1984)** *Analyse de la sécurité en carrefour plan sur les routes interurbaines. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA)*. Bagneux (France), 1984.
- Bang, K.L. (1969)** *Signalreglering och trafiksäkerhet, en fore-after studie*. Stockholms garukontor, Rapport No. 14. Estocolmo (Sweden).
- Behrendt, J. (1981)** *Die Bedeutung von wahrnehmungspsychologischen Untersuchungen für die Wegweisung in die Praxis. Grundlagen zur Wegweisung, Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr*, V 30, Germany.
- Bennett, G.T. (1971)** *Accidents at urban junctions. Journal of the Institution of Highway Engineers*, V37, N8.
- Berthelon, C. (1987)** *Essai de mise en relation entre le niveau de dysfonctionnement de l'usager et les caractéristiques de l'infrastructure*, Informe intermedio de investigación. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil (France).
- Blakstad, F. (1987)** *Accident rates on road sections and junctions in Norway*. P.T.R.C.
- Blomberg, R.D. et Edwards, J.M. (1990)** *Development of safety information materials and media plans for elderly pedestrians*.
- Bowman, B.L. et Veccelio, R.L. (1993)** *Investigation of the impact of medians and refuge islands on road users*. Literature review and data needs Summary report, FHWA-RD-93-130, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Brenac, T. et Aubin, H. (1989)** *La quantification des risques d'accidents en carrefour et ses applications*, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil, France.
- Brenac, T., Bihoreau, M.C., Broche, M., Lernould, P., Luminet, J.P., Nouvier, J. et Wolf, G. (1992)** *Sécurité des routes et des rues*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR) & Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- Brilon, W. et Stuwe, B. (1991)** *Kreisverkehrsplätze. Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Verkehrstechnische Gestaltung. Strassenverkehrstechnik*, Germany.
- Brüde, U. et Larsson, J. (1993)** *Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How will they fit?* Accident Analysis and Prevention, V25, N5, pp. 499-509.
- Cameron, M.H., Stanton, H.G. et Milne, P.W. (1976)** *Pedestrian accidents and exposure in Australia. Proceedings from an international conference on pedestrian safety*, Haifa, Israel.
- Cannell, A.E.R. et Kaestner, C. (1983)** *Some aspects of area traffic control in semi-developed countries*. Traffic Engineering and Control (TEC), December.
- CETE (1981)** *Normandie-Centre: Sécurité routière nocturne selon le type de fonctionnement des feux de signalisation*, France.
- CETE (1981)** *Normandie-Centre: Étude d'efficacité de l'opération signalisation de priorité en agglomération*, France.
- CETE (1982)** *Normandie-Centre: Utilisation par les usagers des feux à activation manuelle*, France.
- CETE (1983)** *Normandie-Centre: Impact sur la sécurité de la mises en place d'axes coordonnées*, France.

- CETE (1983)** *Normandie-Centre: Signalisation de priorité adjointe aux feux*, France.
- CETE (1979 and 1981)** *Normandie-Centre – SERES - CETUR: Les franchissements de feux rouges en agglomération. Étude de sécurité*, Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETE (1982)** *Normandie-Centre – SERES - CETUR: Sécurité des piétons aux carrefours à feux*, Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETE (1983)** *Normandie-Centre: Impact sur la sécurité de la mises en place d'axes coordonnées*, France.
- CETE (1983)** *Normandie-Centre: Signalisation de priorité adjointe aux feux*, France.
- CETE (1979 et 1981)** *Normandie-Centre – SERES - CETUR: Les franchissements de feux rouges en agglomération. Étude de sécurité*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETE (1982)** *Normandie-Centre – SERES - CETUR: Sécurité des piétons aux carrefours à feux*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETE (1988)** *Normandie-Centre - SETRA: Caractéristiques lumineuses des feux tricolores, comportement des usagers*. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- CETE (1991)** *Normandie-Centre - SETRA: Guide technique des carrefours à feux en traversée de petites agglomérations ou en rase campagne*. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- CETUR (1987 et 1981)** *Carrefours urbains, conception et aménagement*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETUR (1988)** *Carrefours à feux*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETUR (1988)** *Conception des carrefours à sens giratoire implantés en milieu urbain*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETUR (1989)** *Résultats de sécurité du programme "Ville plus sûre, quartiers sans accidents"*. Rapport de synthèse du groupe de travail. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETUR: REAGIR (1989)** *Exploitation des enquêtes en milieu urbain*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETUR (1989)** *Réduire la vitesse en agglomération*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETUR (1990)** *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (ICTAVRU)*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- CETUR (1990)** *Ville plus sûre, quartiers sans accidents: savoir-faire et techniques*. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), Bagneux, France.
- Chin, H.C. (1989)** *Effect of automatic red-light cameras on red-running*. Traffic Engineering and Control (TEC), V30, N4, pp. 175-179,.
- Christoffers, C. and Wattering, K. (1977)** *Einsatzbedingungen für halbdirekte Rampen in planfreien Knotenpunkten. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, Germany.
- Cirillo, J.A. (1968)** *Visibility in the driving task, Proceedings of the 1st Annual Symposium, Texas A&M University (U.S.A.)*.
- Cohen, A.S. (1986)** *Régulation du trafic et sécurité aux carrefours à feux*. RTS.
- Craus, J. et Mahalel, D. (1986)** *Analysis of operation and safety characteristics of left-turn lanes*. Journal of the Institution of Traffic Engineers (ITE).
- Dirección General de Carreteras (1999)** *Norma 3.1-IC "Trazado"* (Instrucción de Carreteras), approved by Ministerial Order 27 December, Ministerio de Fomento, Madrid, Spain.

- Durgeat, A. (1984)** *Les enjeux de la régulation urbaine*, Journée AFCET-INRETS « La recherche en matière de régulation de la circulation urbaine », France.
- Faulkner, C.R. et Eaton, J.E. (1977)** *Accident investigation and prevention by applying the location sampling technique to rural crossroads*, Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, United Kingdom.
- Federal Highway Administration (1980)** *Safety design and operational practices for streets and highways*, Technology Sharing Report 80-208. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Federal Highway Administration (1983)** *Guidelines for signalized left turn treatments*, FHWA-IP-81-4. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Federal Highway Administration (1983)** *Traffic control devices handbook*, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Federal Highway Administration (1991)** *Safety effectiveness of highway design features*, FHWA-RD-91-044, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Fleury, D., Flin, C., Peytavin, J.F., Ceccaldi, D. et Thiesselin, S. (1990)** *Diagnostic de sécurité sur un département: application au cas de l'Eure-et-Loir*, Rapport n° 125, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil, France.
- Florida Section of the Institute of Transportation Engineers (ITE) (1982)** *Left turn phase design*, ITE Journal, V52, N9.
- Fouché, C. (1988)** *Les caissons piétons, incidence sur la sécurité et le comportement des piétons*. E.I.V.P., France.
- Frith, W.J. et Harte, D.S. (1986)** *Intersection control by stop and give way signs*, Accident analysis and prevention V18, N3, pp. 183-192.
- Frith, W.J. et Derby, N.M. (1987)** *Intersection control by stop and give way signs*, Accident analysis and prevention, V19, N3, pp. 237-241.
- Garder, P. (1989)** *Pedestrian safety at traffic signals: a study carried out with the help of a traffic conflicts technique*, Accident analysis and prevention, V21, N5, pp. 435-444.
- Girard, Y. (1987)** *Comportement des usagers sur intersection aménagée, à travers l'analyse clinique des accidents. I. Le cas des usagers prioritaires*, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil, France.
- Girard, Y. (1988)** *Analyse de comportements d'accidentés sur carrefours aménagés*, International Conference "Roads and Traffic 2000", Berlin, Germany.
- Girard, Y. (1989)** *Analyse des dysfonctionnements observés dans une tâche de traversée d'intersections aménagées*, N° 16, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil, France.
- Grayson, G.B. (1987)** *Pedestrian risk in crossing roads: West London revisited*. Traffic Engineering and Control (TEC), January.
- Guichet, R. (1989)** *Carrefours giratoires, géométrie, sécurité* (unpublished). Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA) & Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR), France.
- Hall, R.D. (1987)** *Accidents at four-arm single carriageway urban traffic signals*, TRRL Report CR 65, Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, United Kingdom.
- Harwood, D.W. et Hoban, C.J. (1987)** *Low-cost methods for improving traffic operations on two-lane roads: Informational guide*, FHWA-IP-87-02, Federal Highway Administration, Washington, DC., January.
- Hauer, Ezra, Jerry, C.N. et Lovell, L. (1988)** *Estimation of safety at signalized intersections*, Transportation Research Record 1185, Transportation Research Board, Washington, DC..
- Henson, R., Lowe, D. et Overton, T. (1992)** *Right-turn priority overlap stages : A comparison of techniques*, Traffic Engineering and Control (TEC), January.

- Herms, B.F., *Pedestrian Crosswalk Study (1972)*** *Accidents in painted and unpainted crosswalks*, Highway Research Record 406, Highway Research Board, Washington, DC.
- Hulscher, F.R. (1984)** *The problem of stopping drivers after the termination of the green signal at traffic lights*. Traffic Engineering and Control (TEC), V25, N3, March, pp. 110-116.
- Hunt, J.G. (1990)** *Pedestrian safety and delay at crossing facilities in United Kingdom*, Conference "Road Safety and Traffic Environment in Europe", Göteborg, Sweden, September.
- Institution of highways and Transportation (1987)** *Roads and traffic in urban areas*, 148 p. London.
- Jørgensen, N.O. et Rabani, Z. (1971)** *Fodgaengers sikkered i og ved fodgaen-gerovergange*. Radet for trafiksikkeredforskning, Rapport No. 7, Copen-hagen, Denmark.
- Jouineau, J.P. (1985)** *Les effets des mesures locales de sécurité routière en France*, Colloque "Évaluation 1985" France, May.
- Kulmala, R. Safety at Rural 3- and 4-Armed Junctions - Development and application of accident prediction models**, Publication 233. VTT, Espoo, Finland.
- Layfield, R.E. et Maycock, G. (1986)** *Pedal cyclists at roundabouts*, Traffic Engineering and Control, United Kingdom, May.
- Lechner, D. (1986)** *La reconstitution cinématique des accidents*. Rapport n° 21. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil, France.
- Lechner, D. et Malaterre, G. (1990)** *Expérimentation de manoeuvres d'urgence sur simulateur de conduite*, Rapport n° 130, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil, France.
- Maycock, G. et Hall, R.D. (1984)** *Accidents at four-arm roundabouts*, TRRL Report LR 1120, Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, United Kingdom.
- McCoy, P.T. et Hoppe, W.J. (1986)** *Traffic operations study of the turning lanes on uncontrolled approaches of rural intersection*, Transportation Research Record 1100, Transportation Research Board, Washington, DC.
- McGee, H.W. (1977)** *Accident experience with right turn on red*, Transportation Research Record 644, Transportation Research Board, Washington, DC.
- MEL (1975)** *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des routes nationales (ICTARN)*. Ministère de l'Équipement et du Logement, Paris, France.
- NCDOT (1978)** *Policy and procedure manual: Roadway design*, North Carolina Department of Transportation (NCDOT), Raleigh, NC.
- Neuman, T.R.: Channelization Design Guide (1985)** NCHRP Report 345, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Neumann, L. (1986)** *Einsatzkriterien Für Anlagen der Füssgangerquerverkehrs, Ergänzunguntersuchung, Auftrag der Bundesanstalt für Strassen-wesen*, Germany.
- Neumann, L. (1988)** *Strasseund Verkehrrsicherheit, Zusammenstellung bisheriger Erkenntnissenm, Innenministerium BadenWürttemberg, Steierwald Schïntharting und Partner*, Germany.
- Older, J. et Grayson, G. (1976)** *An international comparison of pedestrian risk in four cities, Proceedings from an international conference on pedestrian safety*, Haifa, Israel.
- Persaud, B. (1987)** *« Migration » of accident risk after remedial black spot treatment*, Traffic engineering and control, United Kingdom, January.
- Older, J. et Grayson, G. (1976)** *An international comparison of pedestrian risk in four cities, Proceedings from an international conference on pedestrian safety*, Haifa, Israel.
- Persaud, B. (1987)** *"Migration" of accident risk after remedial black spot treatment*, Traffic engineering and control, V28, N1, United Kingdom, January.

- Persaud, B. (1988)** *Do traffic signals affect safety? Some methodological issues*, Transportation Research Record 1185, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Pickering, D., Hall, R.D. et Grimmer, M. (1986)** *Accidents at rural T-junctions*, TRL Research Report 65, Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, United Kingdom.
- Polus, A. (1985)** *Driver behaviour and accident records at unsignalized urban intersections*, Accident Analysis and Prevention, V17, N1, pp. 25-32.
- Rosenbaum, M.J. (1983)** *A review of research related to the safety of STOP versus yield sign traffic control*, Public Roads, V47, N3. Washington, DC.
- Russam, M. et Sabey, B.E. (1972)** *Accidents and traffic conflicts at junctions*, Proceedings SAE/DOT International Vehicle And Highway Safety Conference, Washington, DC.
- SETRA (1980)** *Carrefours à feux en rase campagne, analyse de la sécurité*, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA (1980)** *Carrefours plans sur routes interurbaines - Guide technique*, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA (1981)** *Carrefours giratoires, analyse de la sécurité*, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA (1983)** *Rapport du groupe de travail sur l'aménagement des carrefours sur routes interurbaines à 2x2 voies*, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA (1984)** *Carrefours giratoires, guide technique*. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA (1986)** *Conception des déviations d'agglomérations - Prise en compte de la sécurité*, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA (1988)** *Carrefours giratoires, évolution des caractéristiques géométriques*, Note d'Information n° 60, série Circulation - Sécurité, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France,.
- SETRA (1989)** *Traitement des tourne-à-gauche - Les aménagements à faible coût*. Note d'Information n° 70, série Circulation-Sécurité. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA (1989)** *Dépôts en carrefour plan sur routes interurbaines: évolution des caractéristiques géométriques*, Note d'Information n° 71, série Circulation - Sécurité, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA (1991)** *Aménagement des routes principales en dehors des agglomérations (Document provisoire)*, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA - CETE (1983)** de l'Ouest: *Carrefours giratoires, analyse de la sécurité*, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- SETRA-CETUR (1991)** *L'éclairage des carrefours à sens giratoire*, Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR) & Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France.
- Short, M., Woelf, G. et Chang, C.I. (1982)** *Effects of traffic signal installation on accidents*. Accident Analysis and Prevention V14, pp. 135-143.
- Slop, Marinus (Pim), Jouineau, Jean-Pierre, Machu, Christian, Weber, Roland, Bergh, Torsten et Zaragoza, Aniceto. (1998)** INTERSAFE. Guía técnica de seguridad para el diseño de carreteras interurbanas, Asociación Española de la Carretera, Madrid, Spain.
- Tétard, C. (1986)** *Le cas de la priorité aux rond-points*. RTS, June.
- Thompson, S.J. Steel, J.D. et Gallear, D. (1989)** *Putting red-light violators into the picture*, Traffic Engineering and Control (TEC), V30, pp. 122-125, March.

Van der Horst, R. et Wilmink, A. (1986) *Drivers' decision making at signalized intersections : An optimisation of the yellow timing*. Traffic Engineering and Control (TEC), V27, pp. 615-622, December.

Ville de Paris (1984) *Étude de l'efficacité de l'installation de feux tricolores*, Traffic Engineering and Control, United Kingdom, November – December.

Ville de Paris (1986) *Influence de l'installation de signalisations tricolores sur le nombre d'accidents corporels*, Paris, France.

Ville de Paris (1991) *Les caissons piétons, incidence sur la sécurité et le comportement des piétons*, Paris, France.

Walker, J.S. et Pittam, S.R. (1989) *Accidents at mini-roundabouts : Frequencies and rates*, CR 161 Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, United Kingdom.

Yee, W.C.K.O. et Bell, M.G.H. (1986) *The impact on accidents and driver behaviour of concentric lane-markings in small roundabouts*, Traffic Engineering and Control (TEC) V27, N5, pp. 255-262, May.

Yerpez, J. et Ferrandez, F. (1986) *Caractéristiques routières et sécurité*, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil, France, April.

Yuan-Chen Cheng, E. (1991) *Accident analysis for single point urban interchange*. Compendium of Technical Papers, 61st Annual Meeting, Institute of Transportation Engineers, September.

Zegeer, V. et Cynecki, M.J. (1986) *Evaluation of counter-measures related to ROTR Accidents that involve pedestrians*, Transportation Research Record 1059, Transportation Research Board, Washington, DC.

Zegeer, V. (1991) *Synthesis of safety research - Pedestrians*. FHWA-SA-91-034, Federal Highway Administration, Washington, DC.

PARTIE 4

Études techniques

VITESSES PRATIQUÉES

Étude technique

Carl Bélanger

VITESSES PRATIQUÉES

Étude technique

	Page
INTRODUCTION	500
QUAND EFFECTUER UNE ÉTUDE DES VITESSES INSTANTANÉES	500
COMMENT EFFECTUER UN RELEVÉ DES VITESSES INSTANTANÉES	500
→ Méthode manuelle – Pistolet radar ou laser	501
→ Méthode manuelle – Chronomètre	502
→ Méthode automatique – Tubes pneumatiques ou boucles magnétiques	503
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	504

LISTE DES FIGURES

Figure VI-1	Angle d'observation	502
Figure VI-2	Exemple – Table de distribution des fréquences	504
Figure VI-3	Exemple – Histogramme des fréquences	504
Figure VI-4	Exemple – Distribution des fréquences	505
Figure VI-5	Exemple – Distribution des fréquences cumulées	505

TABLEAU

Tableau VI-1	Facteurs de correction de l'angle d'observation	502
--------------	---	-----

INTRODUCTION

Lors d'une étude des vitesses instantanées, un échantillon de vitesses est recueilli à un point particulier du réseau afin d'établir la distribution des vitesses pratiquées et de calculer certains paramètres statistiques qui sont utilisés pour prendre des décisions en matière de génie routier.

QUAND EFFECTUER UNE ÉTUDE DE VITESSE

Les résultats d'une étude des vitesses instantanées peuvent servir à :

- déterminer la limite de vitesse réglementaire. La vitesse du 85^e centile (c.-à-d. vitesse à laquelle ou sous laquelle circulent 85 % des véhicules) est souvent utilisée à cette fin;
- vérifier le respect des vitesses affichées;
- vérifier si les accidents peuvent être attribuables à des excès de vitesses (dans les courbes horizontales, aux intersections, en zone scolaire, etc.);
- vérifier les dispersions de vitesses à un site et les différentiels de vitesses entre différentes catégories d'usagers (p. ex. véhicules passagers et véhicules lourds);
- valider les demandes externes (des riverains, élus, etc.);
- vérifier l'efficacité de mesures mises en œuvre pour réduire la vitesse.

[TEST AVANT / APRÈS DE VITESSE ]

Période d'observation

Dans une majorité de cas, les problèmes de vitesses excessives ne surviennent pas en période de congestion et conséquemment, les relevés de vitesses sont généralement effectués en période hors pointe.

Il faut aussi s'assurer, lors des relevés, qu'aucune condition inhabituelle ne perturbe les vitesses normalement pratiquées en amont du site à l'étude : mauvais temps, travaux routiers, surveillance policière, etc.

COMMENT EFFECTUER UN RELEVÉ DE VITESSE

Les données de vitesse peuvent être recueillies de façon manuelle ou automatique :

Méthodes manuelles :

pistolet radar ou laser, chronomètre

Méthodes automatiques :

tube pneumatique, boucle magnétique

Les méthodes manuelles exigent la présence d'un observateur pendant toute la période de collecte de données tandis qu'avec les méthodes automatiques, il suffit d'installer et retirer le matériel en début et fin de période d'observation. On préférera donc ces dernières méthodes lorsque la période de collecte de données est relativement longue.

Taille de l'échantillon

Un échantillon de 100 à 200 véhicules suffit normalement pour obtenir une estimation fiable des vitesses pratiquées et un minimum de 30 observations de vitesses doit être recueilli en tout temps pour assurer une précision statistique minimale.

MÉTHODE MANUELLE – PISTOLET RADAR OU LASER

Personnel et équipement

- 1 personne
- 1 pistolet radar ou laser

Description

Le radar fonctionne selon le principe de Doppler : il émet un faisceau d'ondes en direction d'un véhicule en mouvement qui est ensuite réfléchi vers le pistolet radar. La différence de fréquence entre l'onde émise et celle reçue par le radar est proportionnelle à la vitesse du véhicule.

Le pistolet laser émet pour sa part plusieurs impulsions laser par seconde, qui sont elles aussi réfléchies par le véhicule. La vitesse est alors calculée en fonction de la distance parcourue par le véhicule entre deux impulsions.

La principale différence entre ces deux types d'appareils réside dans la largeur du faisceau qui est émis. Celui du radar est plus large et rend donc plus difficile la mesure de la vitesse d'un véhicule sélectionné lorsque la circulation est dense ou qu'elle s'effectue sur plusieurs voies. Avec le pistolet laser, par contre, l'utilisateur doit viser avec une plus grande précision.

Le pistolet peut être tenu en main, installé dans un véhicule ou monté sur trépied.

Collecte des données

L'observateur s'installe à un endroit où il peut facilement observer les véhicules qui s'approchent tout en s'assurant que le pistolet de mesure ne soit pas trop visible, afin de ne pas influencer le comportement des conducteurs.

S'il est impossible de mesurer la vitesse de tous les véhicules qui circulent au site, il faut éviter les erreurs d'échantillonnage associées au choix de certains types d'usagers dans une proportion qui n'est pas représentative de leur distribution au site. Une source fréquente d'erreur consiste à choisir davantage de véhicules qui roulent très vite ou très lentement (p. ex. camions). Des techniques d'échantillonnage aléatoires, comme par exemple la mesure de chaque deuxième, cinquième ou $n^{\text{ième}}$ véhicule, permettent de limiter ce type d'erreur.



Pistolet radar



Position de l'observateur

L'angle de pointage du pistolet par rapport à la direction de déplacement des véhicules doit être minimal (figure VI-1). La vitesse est en effet mesurée avec la plus grande précision lorsque cet angle est nul mais devient progressivement inférieure à la vitesse réelle à mesure que cet angle augmente. L'importance de l'erreur est indiquée au tableau VI-1. À 30°, par exemple, une vitesse mesurée de 100 km/h correspond en réalité à une vitesse de 115 km/h.

Figure VI-1 Angle d'observation



Tableau VI-1 Facteurs de correction de l'angle d'observation

ANGLE (°)	FACTEURS DE CORRECTION
0	0
1	0,999
10	0,985
20	0,940
30	0,866
40	0,766

MÉTHODE MANUELLE – CHRONOMÈTRE

Personnel et équipement

- 1 personne
- 1 chronomètre
- 1 roue à mesurer
- 2 jalons ou peinture pour marquer la chaussée

Description

Cette méthode consiste à déterminer la vitesse d'un véhicule, en calculant à l'aide d'un chronomètre, le temps qu'il lui faut pour parcourir une distance connue; la vitesse s'obtient à l'aide la relation de base suivante :

$$V = 3,6 \times \frac{d}{t}$$

où :

- V = vitesse (km/h)
- d = distance (m)
- t = temps (s)

[Eq. VI-1]

Collecte des données

L'observateur doit au préalable déterminer et marquer le début et la fin du tronçon sur lequel il souhaite mesurer les vitesses. La longueur de ce tronçon varie en fonction de la vitesse moyenne des véhicules, de façon à ce que le temps moyen de traversée soit d'environ 2,0 à 2,5 secondes (30 m à 50 km/h, 50 m à 90 km/h).

Le début et la fin du tronçon doivent être clairement indiqués par des marques de peinture sur la chaussée ou par des jalons placés sur les abords de la route.

L'observateur se place au centre de ce tronçon, de façon à éviter les erreurs de parallaxe, tout en veillant à ce que sa présence ne soit pas trop évidente pour les conducteurs. Il amorce le chronométrage lorsque les roues avant du véhicule franchissent le premier point de référence et l'arrête lorsqu'elles passent au second point et note alors le temps mesuré. S'il dispose d'un ordinateur portable, il peut transférer directement les données dans un chiffrier électronique et la vitesse peut être calculée automatiquement.

Tout comme pour les méthodes faisant appel à un pistolet radar ou laser, l'observateur doit s'assurer de ne pas commettre d'erreur d'échantillonnage en choisissant une proportion exagérée d'un certain type d'usagers de la route.

Le principal avantage de cette méthode est son faible coût tandis que son principal désavantage est lié à l'imprécision relative des mesures.

MÉTHODE AUTOMATIQUE – TUBES PNEUMATIQUES OU BOUCLES MAGNÉTIQUES

Personnel et équipement

1 personne

tube ou boucle et dispositif d'enregistrement (et équipements pour les fixer en place)

ruban à mesurer

Description et collecte des données

Ici encore, les vitesses sont calculées en fonction du temps qu'il faut à un véhicule pour parcourir une distance donnée. Les véhicules passent sur des détecteurs – tubes pneumatiques, boucles magnétiques ou autres qui sont utilisés en paires et espacés d'une distance connue. Chacun de ces détecteurs enregistre le temps de passage d'un même véhicule et les signaux correspondant sont transmis à un dispositif d'enregistrement situé sur les abords de la route, puis transposés en vitesse.



Mesures de vitesses à l'aide de tubes

La plupart des équipements de collecte peuvent enregistrer simultanément la vitesse des véhicules, leur catégorie, ainsi que les volumes de circulation. La méthode d'installation varie en fonction du type de dispositif utilisé. La précision des mesures doit être validée au début et à la fin de la période d'observation.

Les méthodes automatiques permettent un enregistrement de la vitesse de tous les véhicules et n'introduisent donc pas d'erreur d'échantillonnage, mais les données recueillies ne sont pas nécessairement représentatives de conditions d'écoulement libre. L'un des avantages de ces méthodes est qu'elles ne sont pas facilement détectées par les automobilistes.

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Il faut tout d'abord calculer la moyenne et l'écart-type des données recueillies au site et préparer, à partir de ces informations, deux courbes contenant les principales données statistiques d'intérêt, à savoir¹ :

- le 85^e centile : vitesse à laquelle ou sous laquelle circulent 85 % des véhicules (V_{85});
- la médiane : vitesse en-deçà et au-delà de laquelle circulent la moitié des véhicules; si la distribution est normale (symétrique), la médiane et la moyenne des vitesses sont identiques (V_{50});
- l'intervalle : limites inférieures et supérieures d'un intervalle de vitesse prédéterminé (qui est souvent de 10 km/h ou 20 km/h), à l'intérieur duquel se déplacent le plus grand nombre de véhicules.

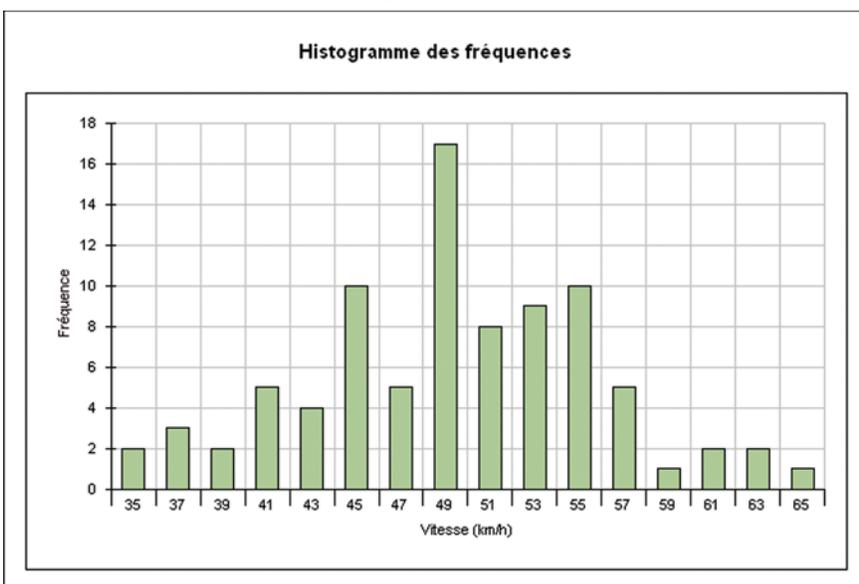
Les figures ci-dessous, obtenues au moyen de l'utilitaire de calcul « *Étude des vitesses instantanées* », montrent des présentations typiques des résultats de ce type d'étude.

Figure VI-2 Exemple – Table de distribution des fréquences

Classe de vitesse (km/h)	Vitesse centrale (km/h)	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulatif
34 - 36	35	2	2,3	2,3
36 - 38	37	3	3,5	5,8
38 - 40	39	2	2,3	8,1
40 - 42	41	5	5,8	14,0
42 - 44	43	4	4,7	18,6
44 - 46	45	10	11,6	30,2
46 - 48	47	5	5,8	36,0
48 - 50	49	17	19,8	55,8
50 - 52	51	8	9,3	65,1
52 - 54	53	9	10,5	75,6
54 - 56	55	10	11,6	87,2
56 - 58	57	5	5,8	93,0
58 - 60	59	1	1,2	94,2
60 - 62	61	2	2,3	96,5
62 - 64	63	2	2,3	98,8
64 - 66	65	1	1,2	100,0
Totaux :		86	100,0	

Vitesse minimale	34,8 km/h
Vitesse maximale	65 km/h
Vitesse moyenne	49,4 km/h
Écart type	6,5 km/h
Nombre de classes	16
Intervalle des classes	2 km/h

Figure VI-3 Exemple – Histogramme des fréquences



¹ On suppose généralement que les vitesses pratiquées suivent une distribution statistique normale et on utilise les propriétés de cette distribution pour déterminer les distributions de fréquences et les distributions cumulatives de fréquences. Il s'agit d'une hypothèse qui devrait être vérifiée à l'aide d'un test du chi-deux.

Figure VI-4 Exemple – Distribution des fréquences

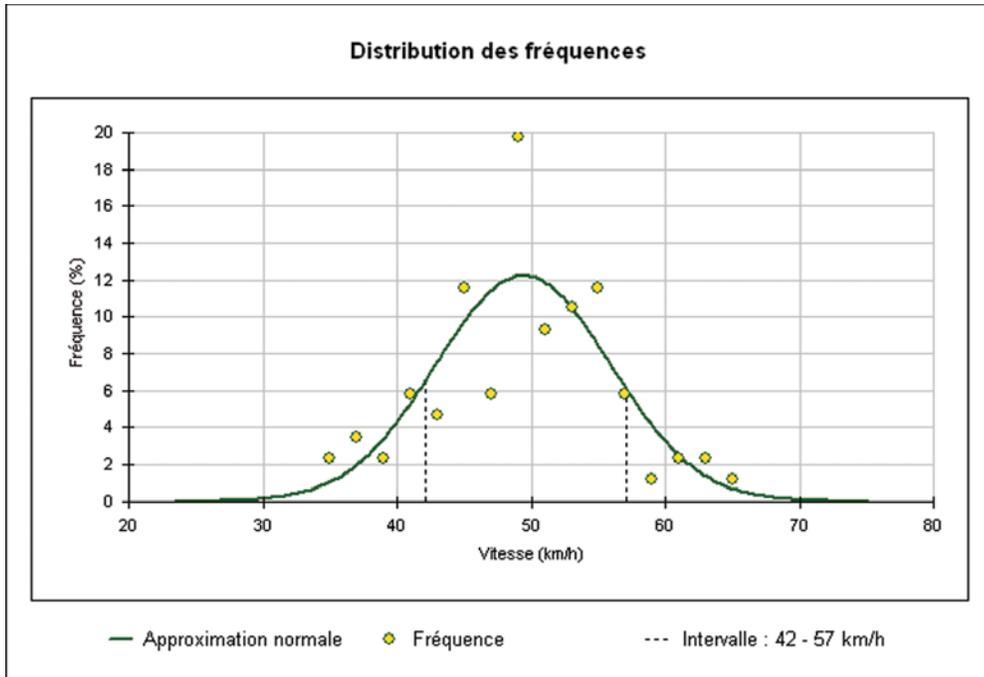
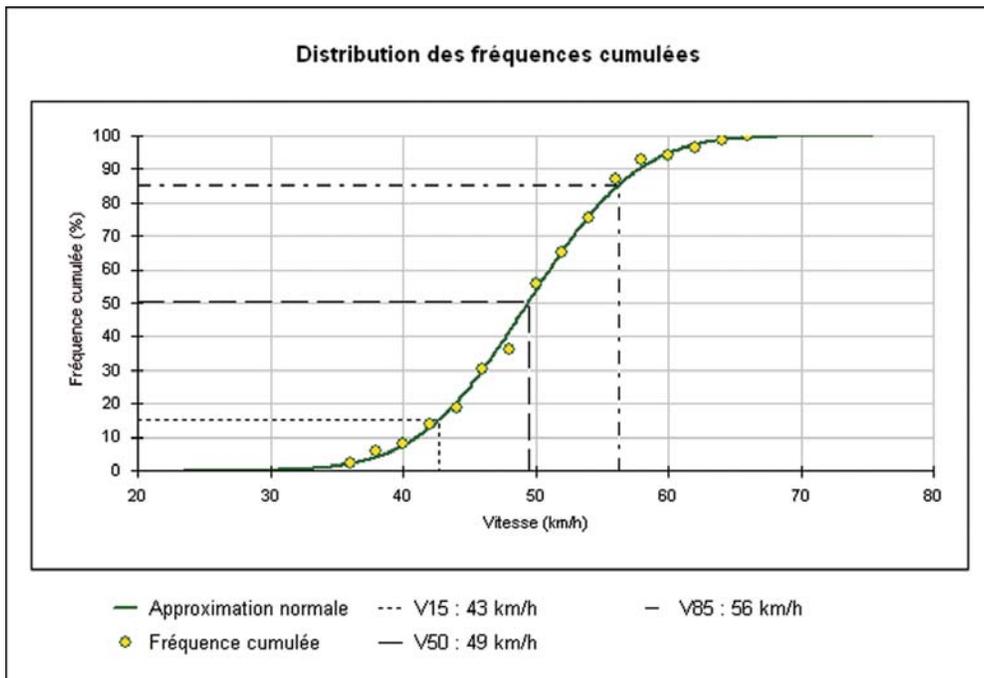


Figure VI-5 Exemple – Distribution des fréquences cumulées



RELEVÉ DE CIRCULATION

Étude technique

Carl Bélanger

RELEVÉ DE CIRCULATION

Étude technique

	Page
INTRODUCTION	510
QUAND EFFECTUER UN RELEVÉ DE CIRCULATION	510
COMMENT EFFECTUER UN RELEVÉ DE CIRCULATION	511
→ Méthodes manuelles	512
→ Méthodes automatiques (tubes pneumatiques, boucles magnétiques)	516
→ Vidéos et nouvelles technologies	517
ÉVALUATION DU DJMA	518
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	520
RÉFÉRENCES	523
ANNEXE RC-1 FORMULAIRES DE RELEVÉS	524

LISTE DES FIGURES

Figure RC-1	Formulaire de relevé de circulation – Véhicules à une intersection	513
Figure RC-2	Formulaire de relevé de circulation – Piétons à une intersection	514
Figure RC-3	Compteurs mécaniques	515
Figure RC-4	Exemple – Installation pour un comptage automatique à une intersection	516
Figure RC-5	Exemple – Variations des débits de circulation	518
Figure RC-6	Calcul du DJMA à partir d'un comptage routier de 12 heures	519
Figure RC-7	Exemple – Sommaire d'un relevé de circulation	520
Figure RC-8	Exemple – Tableau résumé	520
Figure RC-9	Exemple – Diagramme d'écoulement en intersection	522

LISTE DES TABLEAUX

Tableau RC-1	Choix des méthodes de comptage	511
--------------	--------------------------------	-----

INTRODUCTION

Il est souvent nécessaire d'effectuer un relevé de circulation lors de la réalisation d'une analyse de sécurité afin de déterminer si les problèmes rencontrés peuvent être attribuables à des difficultés d'écoulement de la circulation.

Ces relevés sont généralement effectués sur de courtes périodes et ajustés au besoin à l'aide de données recueillies à des stations de comptage permanentes, pour les rendre représentatifs des conditions moyennes de circulation rencontrées au site. Sur les sections de routes, il faut compter le nombre de véhicules qui circulent dans chaque direction (et dans certains cas, dans chaque voie) alors qu'en intersection, on compte le nombre de véhicules effectuant chacune des manœuvres autorisées (virage à gauche, à droite, mouvement direct) sur chaque approche.

Puisque les différents types de véhicules circulant sur un réseau ont des caractéristiques distinctes, il est souvent utile de les répartir, lors du comptage, en différentes catégories : véhicules passagers, camions légers, véhicules lourds, autobus, motos, vélos. Le nombre de piétons doit aussi être compté séparément.

Cette étude technique décrit les principaux éléments à prendre en considération lorsqu'un relevé de circulation doit être effectué au cours d'un diagnostic de sécurité. Pour un traitement plus exhaustif du sujet, le lecteur est invité à consulter des références spécialisées en circulation routière (p. ex. Garber et al., 2001 et Ross et al., 1998).

QUAND EFFECTUER UN RELEVÉ DE CIRCULATION

Lors d'une analyse de sécurité, il peut s'avérer nécessaire d'estimer le débit de la circulation pour les raisons suivantes :

- l'analyse des accidents révèle un problème pouvant être lié aux conditions de circulation; il peut s'agir d'une concentration d'accidents :
 - d'un type spécifique: angles droits, collisions arrière, véhicules opposés où l'un des véhicules effectue une manœuvre de virage, etc.;
 - à une période spécifique (heure de pointe, fin d'évènement sportif, etc.);
 - impliquant une catégorie d'usagers spécifiques (camions, piétons, etc.);
- quand les observations au site révèlent des problèmes de circulation : retards excessifs, files de véhicules, traverses ou dépassements dangereux, etc.;
- quand les critères d'installation de certains équipements routiers qui sont envisagés comme solution potentielle sont fonction des débits de circulation (feux de circulation, traverse piétonne, voie de virage, etc.).

Période d'observation

Les relevés de circulation devraient toujours être planifiés aux moments où les caractéristiques d'intérêts sont le plus susceptible d'être observées : jour ouvrable dans une zone commerciale, été sur une route à vocation touristique, fin de semaine d'hiver sur une route desservant une station de ski, etc. L'observateur doit de plus s'assurer, avant d'effectuer le relevé de circulation, qu'aucun événement inhabituel ne modifie de façon significative les caractéristiques normales de circulation (p. ex. zone de travaux à proximité du site, conflit de travail important, événement culturel majeur).

Les relevés sont souvent effectués durant une période de 12 à 24 heures et les résultats obtenus sont utilisés pour estimer les valeurs des paramètres servant aux prises de décisions en génie routier : **débit de circulation de l'heure de pointe** et **débit journalier moyen annuel (DJMA)**. Lorsque les accidents se concentrent à un moment précis de la journée, un comptage de quelques heures pendant cette période peut être suffisant. Cependant, les projets majeurs nécessitant des investissements importants, peuvent justifier l'installation de **compteurs automatisés** afin de recueillir des données de circulation durant une longue période.

Définitions

Le **débit de l'heure de pointe** est le nombre maximal de véhicules circulant à un point donné d'une route pendant une période de 60 minutes consécutives d'une journée moyenne. L'**intensité horaire de circulation** est fondée sur le taux d'arrivée des véhicules durant un intervalle de cette heure de pointe (en général 15 minutes); ce paramètre est utilisé pour les calculs de capacité (les problèmes de congestion sont souvent causés par de courtes pointes de trafic). Pour calculer l'intensité horaire de circulation, il faut d'abord évaluer le **facteur de pointe instantanée (FPI)**. Si l'intervalle de calcul est de 15 minutes, le calcul est le suivant :

$$\text{Facteur de pointe instantanée (FPI)} = \frac{\text{débit de l'heure de pointe}}{4 \times (\text{débit du 15 minutes maximum de l'heure de pointe})} \quad [\text{Eq.RC-1}]$$

$$\text{Intensité horaire de circulation} = \frac{\text{débit de l'heure de pointe}}{\text{FPI}} \quad [\text{Eq.RC-2}]$$

Un exemple de calcul est effectué à la figure RC-8.

Le **débit journalier moyen annuel (DJMA)** correspond au nombre total de véhicules circulant à un point donné du réseau durant une année complète, divisé par le nombre de jours dans l'année. Sur un tronçon de route, le DJMA se calcule à partir du total des véhicules circulant dans les deux directions. À une intersection, il est fonction du nombre total de véhicules entrant à l'intersection (**évaluation du DJMA**).

COMMENT EFFECTUER UN RELEVÉ DE CIRCULATION

Les relevés de circulation s'effectuent généralement à l'aide de **méthodes manuelles** ou de **méthodes automatiques**. Les technologies récentes ont cependant élargi l'éventail de méthodes de relevés pouvant être utilisées (**vidéos et nouvelles technologies**).

Le choix de la méthode dépend du type d'information recherché, de la durée prévue du comptage et du budget disponible (tableau RC-1).

Tableau RC-1 Choix des méthodes de comptage

INFORMATION	MANUELLE	AUTOMATIQUE (TUBE PNEUMATIQUE BOUCLE MAGNÉTIQUE)	VIDÉO ET NOUVELLES TECHNOLOGIES
Comptage à court terme			
- tronçon	oui	oui	Même si les enregistrements vidéos et les nouvelles technologies peuvent être utilisés pour plusieurs types de relevés de circulation, les procédures d'installation sont souvent trop complexes pour les comptages de courte durée.
- intersection (avec mouvements tournants)	oui	Différentiation de chaque manoeuvre peut être difficile	
- occupation des véhicules	oui	non	
- classification des véhicules	oui	oui	
- comptage piétons	oui	non	
Comptage à long terme	oui, mais trop coûteux	oui	oui

MÉTHODES MANUELLES

Comme les procédures d'installation sont beaucoup plus simples, les méthodes manuelles sont généralement préférées aux méthodes automatiques pour les relevés de circulation de courte durée qui sont souvent réalisés lors d'études de sécurité.

Ces méthodes sont aussi privilégiées aux intersections puisque les méthodes automatiques permettent difficilement le comptage précis du nombre d'utilisateurs effectuant chacune des manœuvres permises.

Le personnel

Le nombre d'observateurs requis dépend de plusieurs facteurs : la durée du relevé de circulation, l'intensité des débits de circulation, le niveau de détail de l'information à recueillir (mouvements tournants, classification des véhicules, occupation des véhicules) et la configuration géométrique du site. Ainsi, une personne seule peut généralement effectuer un comptage sur un tronçon de route rurale à deux voies mais il faudra plusieurs observateurs pour recenser la circulation à une intersection achalandée, lorsque le détail des mouvements tournants est requis.

Les observateurs doivent se positionner à un endroit d'où il peuvent facilement voir tous les usagers devant être recensés sans gêner leur progression.

Pour éviter les erreurs pouvant découler de fatigue excessive, il faut prévoir des pauses régulières. Le nombre de véhicules qui ne sont pas recensés durant ces pauses doit être estimé à partir du nombre recensé immédiatement avant et après la pause (McShane and Roess, 1990).

L'équipement

Trois types d'équipements peuvent être utilisés pour effectuer des relevés manuels :

*formulaire de comptage, montre et chronomètre
compteur mécanique, formulaire sommaire, montre et chronomètre
compteur électronique*

Méthode manuelle – Formulaire de comptage, montre et chronomètre

L'observateur fait une coche dans la section appropriée du formulaire de comptage au passage de chaque véhicule (ou piéton). Des formulaires distincts sont utilisés pour recenser les véhicules (p. ex. figure RC-1) et les piétons (p. ex. figure RC-2). Le même formulaire peut cependant servir à compter plus d'une catégorie de véhicules. Ainsi, l'exemple de la figure RC-1 sépare les véhicules passagers et les véhicules lourds.

L'observateur utilise une montre et un chronomètre pour déterminer le début et la fin de chaque période pré-établie de comptage (p. ex. périodes de 15 minutes à partir de 07h00). Un formulaire distinct est utilisé pour chacune de ces périodes. L'entête de chaque formulaire doit être rigoureusement complétée, afin d'éviter les erreurs lors de la préparation ultérieure des sommaires de données (ce qui est particulièrement important si plusieurs relevés de circulation sont effectués en séquence).

Figure RC-1 Formulaire de relevé de circulation – Véhicules à une intersection

Relevé de circulation - Véhicules à une intersection

Municipalité : *Saint-Gilles* Date : *15/03/2000*

Intersection : *Route 365/route 358* Heure de : *17:00* à : *17:15*

Observateur : *Benoit Taillefer* Temps (météo) : *Ensoleillé*

Commentaires :

R-365

R-358

R-358

Restaurant

T : véhicules lourds
P : véhicules passagers

Figure RC-2 Formulaire de relevé de circulation – Piétons à une intersection

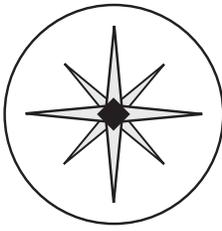
Relevé de circulation – Piétons à une intersection

Municipalité : *Saint-Gilles* Date : *15/03/2000*

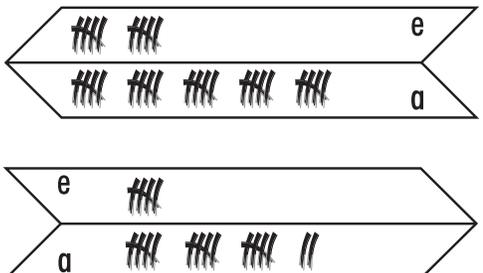
Intersection : *Route 365/route 358* Heure de : *17:00* à : *18:00*

Observateur : *Benoit Taillefer* Temps (météo) : *Ensoleillé*

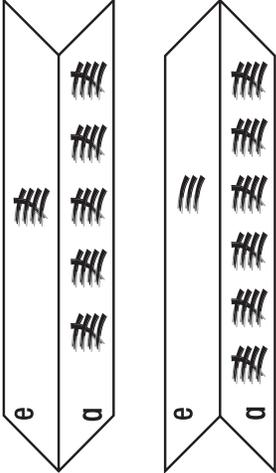
Commentaires :



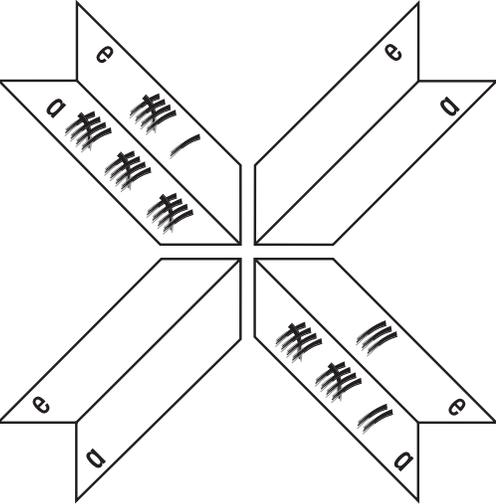
R-365



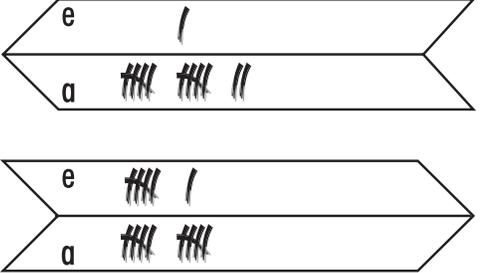
R-358

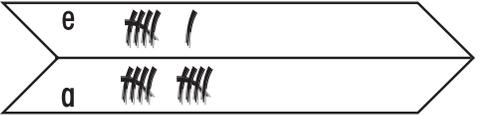


R-358



Restaurant





Restaurant

e : enfants
a : adultes

Des formulaires vides sont inclus en annexe RC-1.

Méthode manuelle – Compteur mécanique, formulaire sommaire et chronomètre

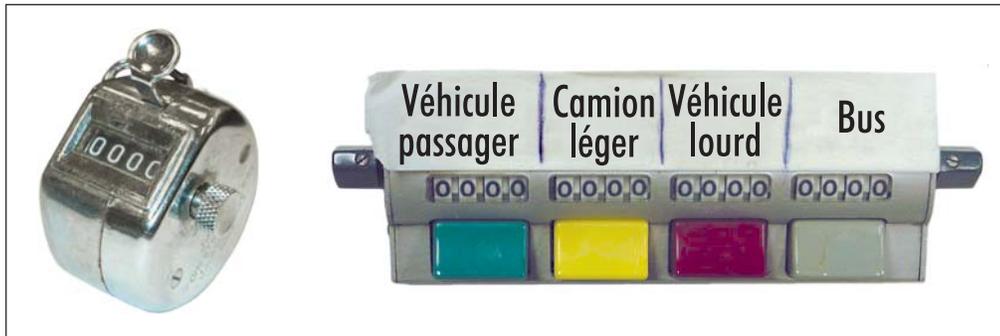
L'observateur enregistre le passage de chaque véhicule en appuyant sur un bouton d'un compteur mécanique. Différents types de compteurs peuvent être utilisés; par exemple, celui de gauche de la figure RC-3 permet de recenser une seule caractéristique de circulation, tandis que celui de droite peut compter jusqu'à quatre caractéristiques distinctes. Il peut s'agir de :

- du nombre de véhicules effectuant une manœuvre (à gauche, tout droit, à droite);
- du nombre d'usagers d'une catégorie donnée (véhicule passager, camion léger, véhicule lourd, bus);
- du nombre de véhicules dans chaque voie de circulation.

Ainsi, pour compter séparément toutes les manœuvres à une intersection à quatre branches, il faut quatre compteurs à trois boutons.

Ici encore, il faut une montre et un chronomètre pour déterminer le début et la fin de chaque période de comptage. À la fin de chacune de ces périodes, l'observateur note le nombre de véhicules recensés sur le formulaire sommaire et remet les compteurs à zéro. Un exemple de formulaire sommaire vide est inclus à l'annexe RC-1. Des procédures ont été établies pour minimiser les erreurs associées à ce report de données (p. ex. Roess et al., 1998).

Figure RC-3 Compteurs mécaniques



Méthode manuelle – Compteur électronique

L'observateur appuie sur le bouton approprié du compteur électronique pour enregistrer le passage de chaque véhicule.

Ces compteurs ont une horloge et une mémoire internes qui rendent inutiles les chronomètres et les formulaires sommaires. L'appareil enregistre automatiquement le nombre total de véhicules à chacune des périodes choisies par l'observateur.

À la fin de l'étude, les données sont transférées sur ordinateur et un rapport peut être préparé automatiquement à l'aide du logiciel du fabricant. Le risque d'erreur lié à la manipulation des données est beaucoup moindre et des économies de temps appréciables peuvent être réalisées si le nombre de relevés est important.



Compteur électronique
Courtoisie de Jamar Technologies, inc.

MÉTHODES AUTOMATIQUES (tubes pneumatiques, boucles magnétiques, autres)

Dans ce cas-ci, le passage des véhicules est détecté par des capteurs à l'aide d'un dispositif électromécanique ou électromagnétique. Les capteurs sont reliés à un enregistreur de données qui est installé sur les abords de la route. Certains enregistreurs sont munis d'un afficheur numérique montrant les données à mesure qu'elles s'enregistrent, ce qui permet de valider le bon fonctionnement de l'appareil (en début et en fin d'étude). Les méthodes automatiques peuvent servir aux relevés à court ou à long terme, suivant la nature de l'installation.

Comptage à court terme

Pour les relevés effectués en section de route, les procédures d'installations sont assez simples : il suffit de poser les détecteurs sur la chaussée selon les spécifications du manufacturier et de les relier à un enregistreur de données fixé à une pièce d'équipement sur les abords de la route.

Les compteurs automatiques peuvent parfois être utilisés aux intersections (si la configuration des voies le permet). On peut ainsi recenser une partie des manœuvres des véhicules, ce qui réduit d'autant le nombre d'observateurs qui serait autrement nécessaire (figure RC-4).

On préférera aussi les méthodes automatiques aux endroits où la sécurité des observateurs ou des usagers de la route pourrait être compromise; un véhicule de patrouille doit être disponible au moment de l'installation.

Comptage à long terme

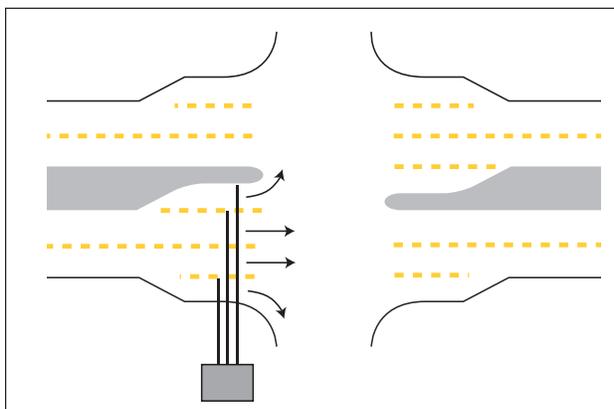
La plupart des autorités routières installent, dans le cadre d'un programme national de recensement de la circulation, un certain nombre de stations de comptage permanentes à des endroits stratégiques du réseau. Ces stations effectuent le recensement continu du nombre de véhicules, ce qui permet un suivi régulier des variations et de l'évolution des débits de circulation. Les données recueillies permettent notamment d'ajuster les données de comptages à court terme afin de les rendre représentatives de conditions de circulation moyennes (*évaluation du DJMA*).

Pour les comptages à long terme, les détecteurs sont installés dans la chaussée même et les enregistreurs de données sont conservés dans des cabinets fermés afin de les protéger des intempéries, du vol et du vandalisme.



Installation pour un relevé automatique en section (court terme)
Source: Ministère des Transports du Québec (B. Bussière)

Figure RC-4 Exemple – Installation pour un comptage automatique à une intersection



VIDÉOS ET NOUVELLES TECHNOLOGIES

L'enregistrement vidéo sur place peut aussi être utilisé pour effectuer des recensements de circulation. Ce relevé vidéo doit par la suite être traité à l'aide d'un logiciel spécialisé ou encore faire l'objet d'une analyse par des observateurs au bureau.

L'un des avantages de cette méthode est que le même enregistrement peut servir non seulement à recenser le nombre de véhicules mais aussi à relever plusieurs autres caractéristiques de la circulation: retards et files d'attente, conflits de circulation, manœuvres dangereuses, respect de la réglementation, etc.

Le principal inconvénient de la méthode est lié aux difficultés d'installation de l'équipement. Il peut en effet être difficile de trouver un endroit offrant une vue dégagée de toutes les manœuvres possibles, où l'équipement peut être installé rapidement, à faible coût et sans trop de risque de bris ou vandalisme.

Les développements technologiques récents ont considérablement accrus les possibilités d'utilisation de la vidéo pour la surveillance de la circulation. L'utilisation combinée d'images vidéos et de senseurs permet maintenant de détecter automatiquement divers problèmes de circulation et de sécurité, y compris la vitesse excessive et le non respect du feu rouge.

Les caméras vidéos de surveillance de la circulation, couplées à des dispositifs de présignalisation à messages variables, sont aussi largement utilisées dans les grandes agglomérations pour minimiser les problèmes de congestion et les risques d'accidents pouvant y être associés.

D'autres technologies de traitement de l'image et de détection des véhicules (radar à micro-ondes, infrarouge, laser, ultrasons) se développent aussi à un rythme rapide et enrichissent l'éventail de techniques pouvant être utilisées pour la surveillance et le recensement de la circulation (Klein, 1997).



Caméra - Surveillance de la circulation

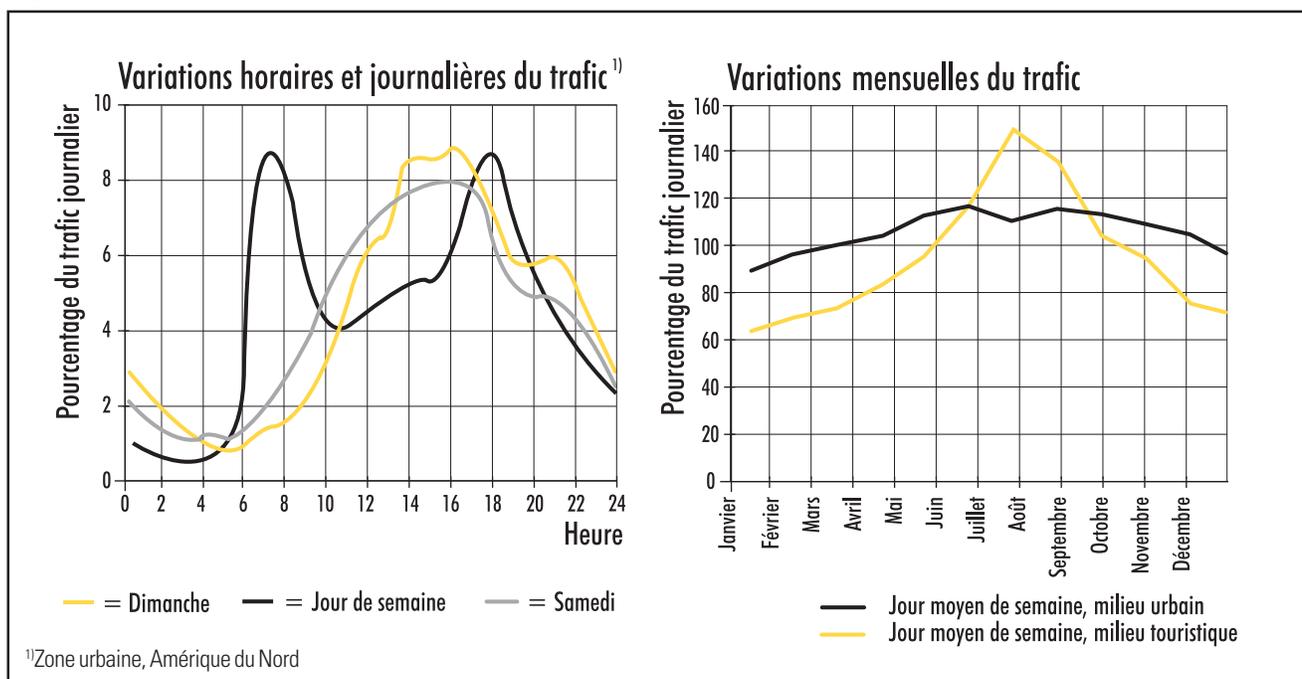
Source: MTQ

ÉVALUATION DU DJMA

Les débits de circulation changent selon les heures, les jours et les mois et ils varient également d'une année à l'autre. Plusieurs facteurs influencent ces variations, dont la nature de l'environnement (urbain ou rural) et le motif des déplacements (affaires, loisirs). Les variations mensuelles sont par exemple plus importantes sur les routes rurales desservant une circulation touristique alors que les pointes horaires les plus fortes sont observées en milieu urbain durant les jours ouvrables.

La figure RC-5 illustre les variations de circulation relevées à des stations de comptage permanentes. Elle montre que les débits de circulation recensés peuvent varier de façon significative en fonction du moment où s'effectuent les observations.

Figure RC-5 Exemple – Variations des débits de circulation



Pour éviter les conclusions erronées pouvant découler de telles variations, plusieurs décisions relatives au génie routier sont fondées sur la valeur du débit journalier moyen annuel (DJMA). Cette valeur se calcule le plus souvent en ajustant les données d'un relevé de circulation de courte durée à l'aide des débits recueillies à une station permanente de comptage située dans une zone ayant des caractéristiques similaires à celles du site à l'étude.

La procédure d'ajustement est illustrée dans l'exemple suivant.

Exemple

Un comptage de 12 heures a été effectué à une intersection un mercredi en mars 2000, entre 7 h 00 et 19 h 00 et un total de 9 375 véhicules a alors été recensé. Les variations horaires, journalières et mensuelles de circulation enregistrées à une station de comptage permanente ayant des caractéristiques similaires sont indiquées à la figure RC-6. Comme ces données sont récentes (au moment de l'analyse), aucune correction pour les variations annuelles n'est nécessaire, mais il faut néanmoins étendre le relevé à une période de 24 heures et effectuer une correction pour tenir compte des variations saisonnières.

Extension à 24 heures

Le comptage a été effectué entre 7 h 00 et 19 h 00. D'après les données de la station permanente de comptage, 81,87 % de tous les véhicules qui circulent sur ce type de route durant une période de 24 heures d'un jour moyen de semaine, le font durant cette période de 12 heures. Le débit de 24 heures correspondant est donc de :

$$9,375/0,8187 = 11\ 451 \text{ véhicules}$$

Correction saisonnière

Le comptage a été effectué un mercredi de mars. Les données de la station permanente de comptage indiquent que le débit de circulation correspond alors en moyenne à 82,77 % du DJMA qui est donc de :

$$11\ 451/0,8277 = 13\ 835 \text{ véhicules.}$$

C'est cette valeur de 13 835 vpj – qui représente ici une majoration de 48 % par rapport au nombre recensé de véhicules en 12 heures – qu'il faut utiliser pour prendre les décisions fondées sur les débits journaliers moyens annuels (p. ex. calcul du taux d'accidents et du taux d'accidents critique).

Figure RC-6 Calcul du DJMA à partir d'un comptage routier de 12 heures

COMPTAGE ROUTIER								VARIATION HORAIRE DU TRAFIC				
Jour de la semaine : mercredi								Dimanche	Samedi	Jour de semaine		
Mois : mars								0	2,80	2,00	0,92	
Heure : 07:00 à 19:00								1	1,92	1,24	0,45	
Compte total : 9 375 véhicules								2	1,30	0,91	0,31	
								3	0,88	0,73	0,28	
								4	0,45	0,41	0,29	
								5	0,45	0,68	1,73	
								6	0,88	1,46	6,55	
								7	1,18	2,16	8,68	
								8	1,79	3,25	5,49	
								9	2,95	4,67	3,66	
								10	4,33	6,12	4,01	
								11	5,86	6,84	4,41	
								12	6,72	7,31	4,91	
								13	8,54	7,84	5,14	
								14	8,61	8,01	5,42	
								15	8,85	8,12	6,46	
								16	8,28	7,93	8,43	
								17	6,93	6,49	8,75	
								18	5,76	5,11	6,51	
								19	5,76	4,70	5,11	
								20	5,67	4,09	4,19	
								21	4,62	3,28	3,49	
								22	3,29	3,28	2,57	
								23	2,12	3,17	1,79	

VARIATIONS JOURNALIÈRES ET MENSUELLES DU TRAFIC							
	dimanche	lundi	mardi	mercredi	jeudi	vendredi	samedi
Janvier	80,15	71,36	72,83	75,21	78,43	83,26	66,49
Février	94,30	74,77	75,56	76,41	82,15	89,91	74,62
Mars	100,17	77,66	80,17	82,77	87,03	94,49	80,28
Avril	109,73	84,76	86,84	89,55	93,87	105,07	89,36
Mai	129,87	94,84	97,04	99,44	104,81	121,35	102,88
Juin	142,39	103,93	105,95	107,85	113,11	129,52	112,30
Juillet	150,16	114,67	116,29	117,00	124,27	135,99	120,65
Août	150,98	111,50	112,86	114,26	119,90	135,83	120,80
Septembre	133,76	95,65	98,69	100,33	106,05	119,89	101,57
Octobre	121,92	92,60	94,99	96,37	101,54	114,88	96,27
Novembre	102,65	84,98	86,60	88,20	92,30	98,29	79,83
Décembre	86,65	79,38	80,22	77,57	85,46	91,84	72,21

Correction pour le jour et le mois	$\frac{11\ 451}{0,8277} = 13\ 835 \text{ vpj}$
------------------------------------	--

Extension à 24h	$\frac{9\ 375}{0,8187} = 11\ 451 \text{ vpj}$
-----------------	---

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les données brutes de circulation doivent être traitées et présentées de façon à en faciliter l'analyse. Pour les relevés manuels effectués à l'aide de formulaires papier, il faut additionner toutes les coches qui y ont été notées pour préparer des récapitulatifs de données. Pour les compteurs électroniques manuels ou les méthodes automatiques, on utilisera le plus souvent les logiciels du fabricant, ce qui facilite la présentation des résultats.

Les figures RC-7 à RC-9 montrent des exemples typiques de présentation des résultats de relevés de circulation.

Figure RC-7 Exemple – Sommaire d'un relevé de circulation

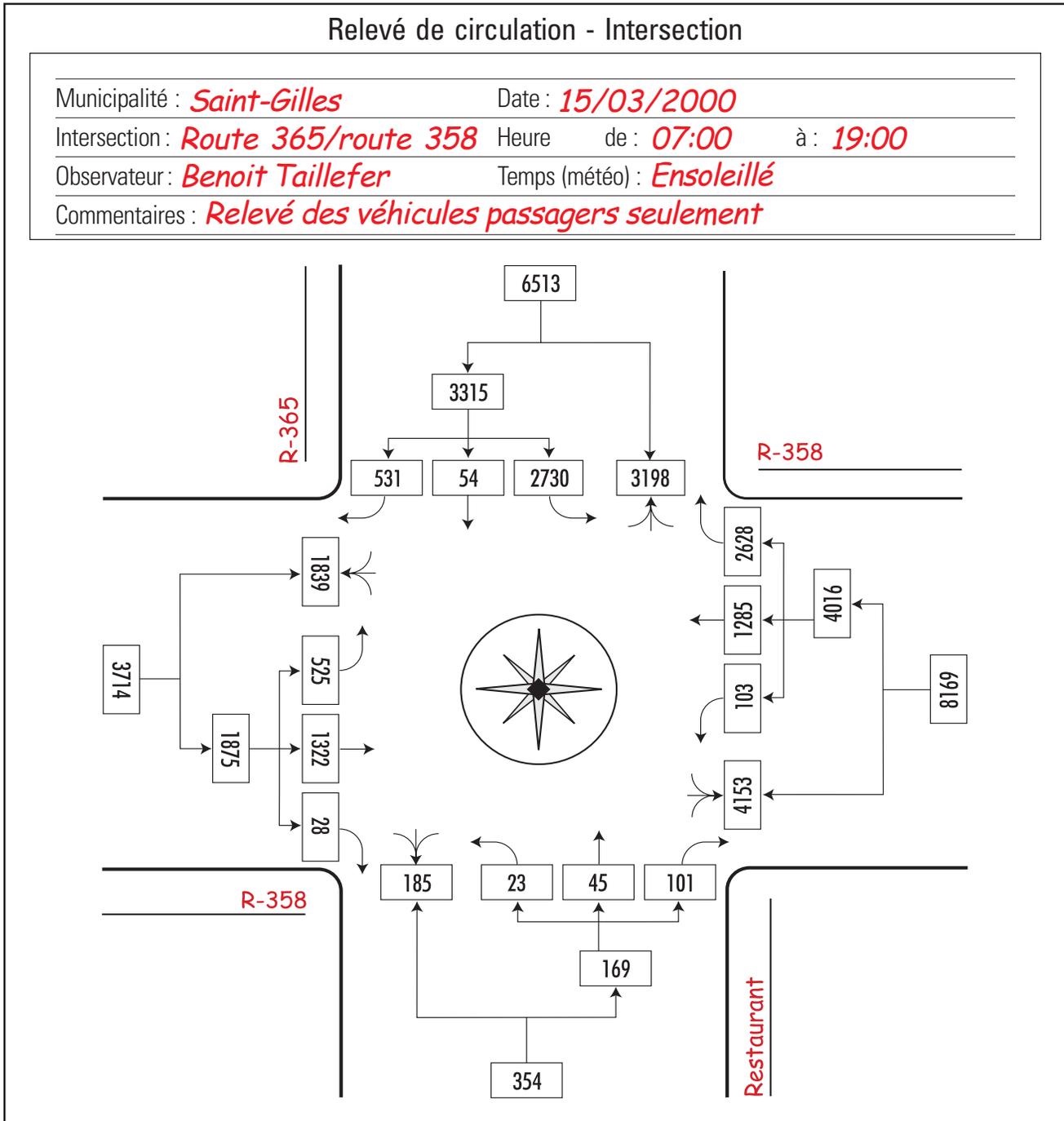


Figure RC-8 Exemple – Tableau résumé

Municipalité : <i>Saint-Gilles</i>	Date : <i>15/03/2000</i>
Intersection : <i>Route 365/route 358</i>	Heure de : <i>07:00</i> à : <i>19:00</i>
Observateur : <i>Benoit Taillefer</i>	Temps (météo) : <i>Ensoleillé</i>
Commentaires : <i>Relevé des véhicules passagers seulement</i>	

	De l'approche Nord				De l'approche Sud				De l'approche Est				De l'approche Ouest				Total
	<i>R-365</i>		<i>Restaurant</i>		<i>R-358</i>		<i>R-358</i>		<i>R-358</i>		<i>R-358</i>		<i>R-358</i>				
	Gauche	Tout droit	Droite	Total	Gauche	Tout droit	Droite	Total	Gauche	Tout droit	Droite	Total	Gauche	Tout droit	Droite	Total	Total
07:00	52	0	10	62	0	0	2	2	0	17	25	42	6	13	0	19	125
07:15	56	0	15	71	1	1	0	2	1	31	33	65	9	18	1	28	166
07:30	53	0	11	64	0	1	1	2	1	21	62	84	6	17	0	23	173
07:45	63	0	15	78	0	1	1	2	1	40	48	89	7	20	0	27	196
08:00	38	0	7	45	0	0	0	0	0	26	64	90	7	18	0	25	160
08:15	48	0	10	58	0	1	1	2	2	14	41	57	3	21	0	24	141
08:30	33	0	11	44	0	0	1	1	1	25	50	76	8	23	0	31	152
08:45	46	0	14	60	0	2	0	2	1	22	48	71	12	24	2	38	171
09:00	43	0	8	51	0	0	2	2	1	20	46	67	10	24	1	35	155
09:15	44	1	8	53	0	1	1	2	1	20	46	67	11	24	0	35	157
09:30	43	1	8	52	0	2	0	2	1	20	46	67	11	24	0	35	156
09:45	44	1	8	53	0	1	1	2	0	20	47	67	11	24	0	35	157
10:00	59	0	13	72	0	1	2	3	0	25	44	69	9	21	1	31	175
10:15	59	0	13	72	0	0	1	1	0	25	45	70	9	22	0	31	174
10:30	59	0	14	73	0	0	2	2	0	25	45	70	9	21	0	30	175
10:45	59	1	14	74	0	1	0	1	0	24	45	69	10	22	0	32	176
11:00	51	2	14	67	0	0	2	2	3	30	59	92	12	30	0	42	203
11:15	51	1	14	66	0	0	4	4	4	31	59	94	12	30	1	43	207
11:30	57	3	15	75	0	1	4	5	8	31	47	86	6	26	1	33	199
11:45	54	1	11	66	2	0	3	5	5	13	53	71	11	46	1	58	200
12:00	55	4	11	70	1	3	6	10	6	28	64	98	21	39	5	65	243
12:15	55	3	6	64	2	5	3	10	10	28	55	93	10	24	0	34	201
12:30	83	1	9	93	0	1	2	3	5	18	51	74	22	16	1	39	209
12:45	71	1	14	86	2	4	4	10	8	54	75	137	8	40	2	50	283
13:00	59	2	10	71	1	2	1	4	3	47	40	90	9	49	2	60	225
13:15	45	1	14	60	1	1	5	7	2	26	51	79	11	23	1	35	181
13:30	59	2	8	69	1	2	3	6	2	27	63	92	14	20	0	34	201
13:45	58	0	7	65	1	1	2	4	0	28	64	92	15	21	0	36	197
14:00	62	4	11	77	1	0	4	5	1	36	55	92	10	27	1	38	212
14:15	61	3	11	75	0	0	4	4	1	26	55	82	10	28	1	39	200
14:30	61	2	10	73	0	0	3	3	1	26	55	82	11	27	0	38	196
14:45	61	1	10	72	0	1	1	2	1	27	55	83	11	28	0	39	196
15:00	56	2	15	73	1	1	4	6	2	29	56	87	12	33	1	46	212
15:15	55	1	15	71	1	1	4	6	2	29	57	88	13	33	1	47	212
15:30	55	1	15	71	1	0	2	3	2	29	57	88	13	33	0	46	208
15:45	55	1	16	72	0	0	2	2	2	30	57	89	13	34	0	47	210
16:00	78	1	13	92	0	2	2	4	1	23	58	82	20	46	1	67	245
16:15	67	0	10	77	0	0	1	1	0	28	78	106	12	38	0	50	234
16:30	64	2	16	82	0	0	0	0	0	41	83	124	18	40	0	58	264
16:45	83	3	9	95	1	0	2	3	3	37	76	116	13	44	0	57	271
17:00	68	1	14	83	2	1	3	6	4	24	77	105	11	39	0	50	244
17:15	78	0	10	88	1	1	3	5	3	22	65	90	18	35	1	54	237
17:30	42	2	6	50	0	2	3	5	4	24	69	97	8	24	1	33	185
17:45	53	2	4	59	2	0	2	4	4	24	57	85	5	25	1	31	179
18:00	59	1	9	69	1	2	2	5	3	23	50	76	9	22	1	32	182
18:15	58	1	9	68	0	1	1	2	2	24	50	76	9	22	0	31	177
18:30	59	1	8	68	0	1	2	3	1	23	51	75	10	22	0	32	178
18:45	58	0	8	66	0	0	2	2	0	24	51	75	10	22	0	32	175
Total	2730	54	531	3315	23	45	101	169	103	1285	2628	4016	525	1322	28	1875	9375

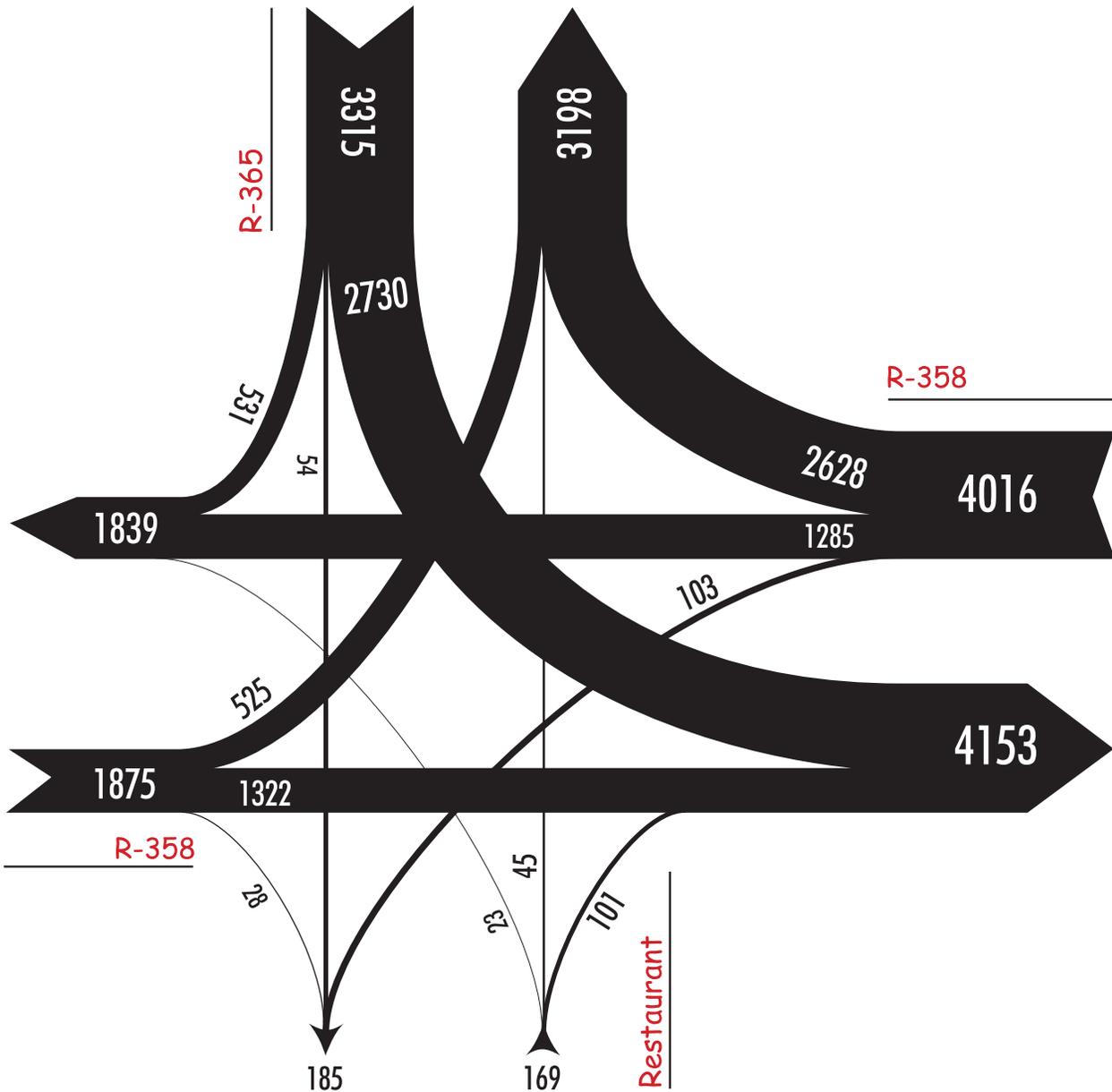
Heure de pointe : 16:30 à 17:30

$$\text{Facteur de pointe instantanée (FPI)} = \frac{1016}{4 \times 271} = 0,937$$

$$\text{Intensité de circulation} = \frac{1016}{0,937} = 1084$$

Figure RC-9 Exemple – Diagramme d'écoulement en intersection

Municipalité : <i>Saint-Gilles</i>	Date : <i>15/03/2000</i>
Intersection : <i>Route 365/route 358</i>	Heure de : <i>07:00</i> à : <i>19:00</i>
Observateur : <i>Benoit Taillefer</i>	Temps (météo) : <i>Ensoleillé</i>
Commentaires : <i>Relevé des véhicules passagers seulement</i>	



RÉFÉRENCES

- Garber, N.J. et Hoel, L.A. (2001)** *Traffic & Highway Engineering*, Third Edition, Brooks/Cole, pp. 99-115.
- Klein, L.A. (1997)** *Vehicle detector technologies for traffic management applications*. ITS Outline (<http://www.nawgits.com/icdn.html>).
- McShane, W.R. et Roess, R.P. (1990)** *Traffic engineering*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Roess, R.P., McShane, W.R. et Prassas, E.S. (1998)** *Traffic engineering, 2nd Edition*, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

ANNEXE RC-1

Formulaires

Relevé de circulation - Véhicules à une intersection

Municipalité :

Date :

Intersection :

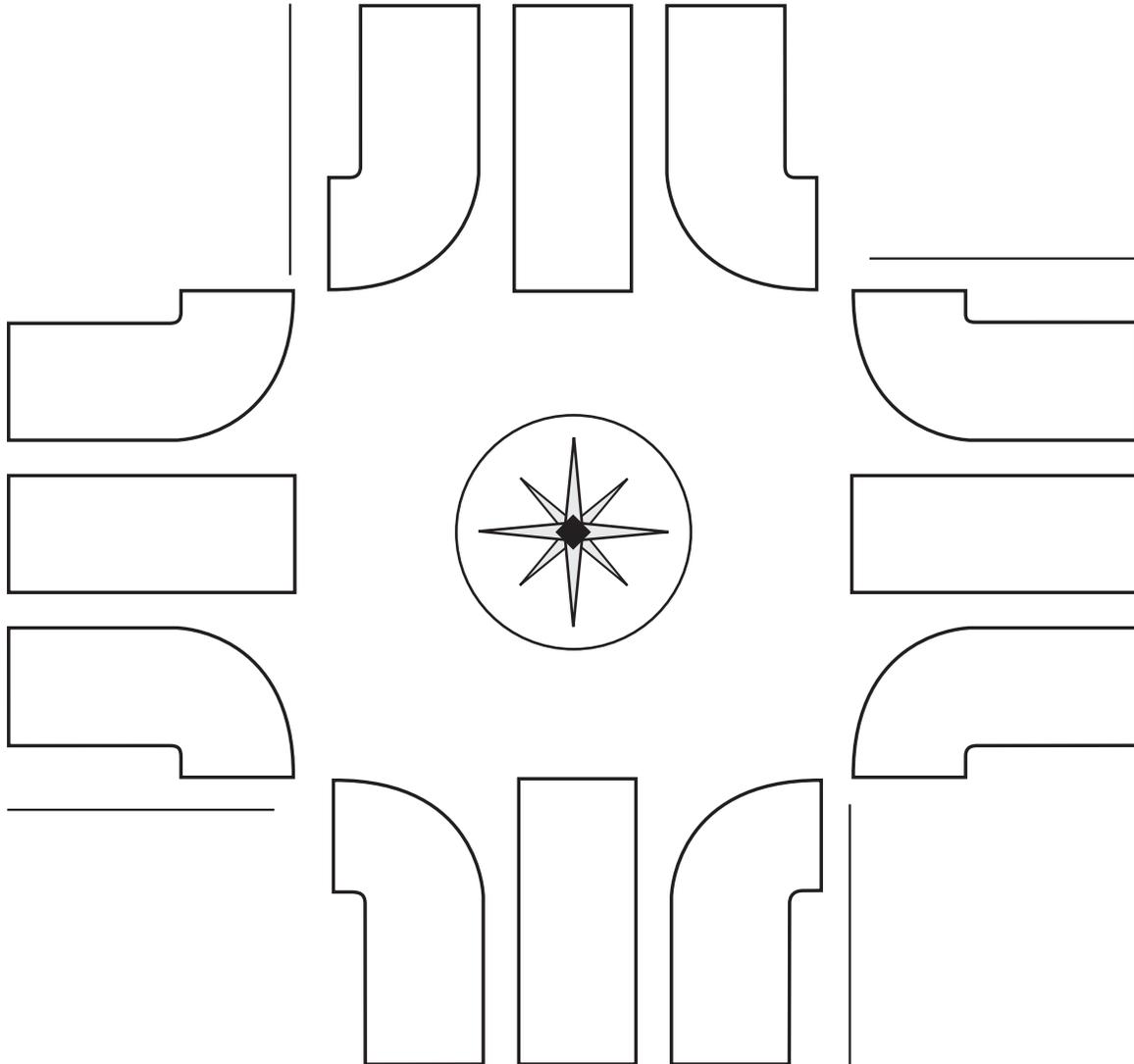
Heure de :

à :

Observateur :

Temps (météo) :

Commentaires :



Relevé de circulation – Piétons à une intersection

Municipalité :

Date :

Intersection :

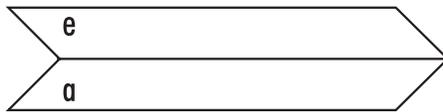
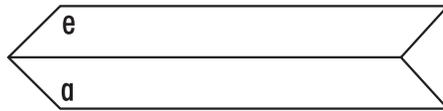
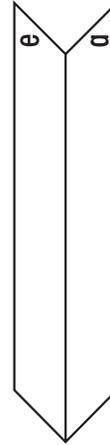
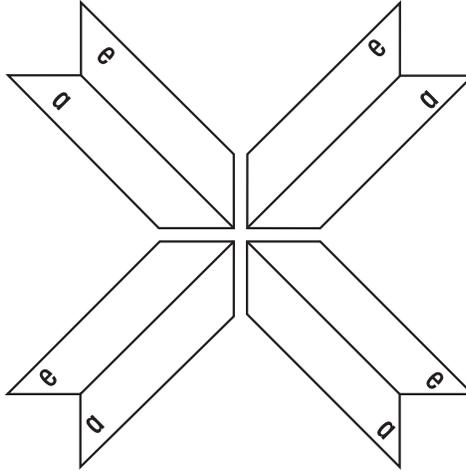
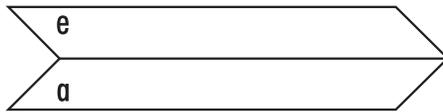
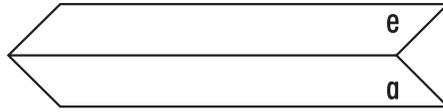
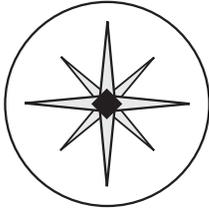
Heure de :

à :

Observateur :

Temps (météo) :

Commentaires :



e : enfants
a : adultes

ADHÉRENCE

Étude technique

Carl Bélanger

ADHÉRENCE

Étude technique

	Page
INTRODUCTION	534
QUAND EFFECTUER UNE ÉTUDE DE FROTTEMENT	534
COMMENT DÉTECTER LES PROBLÈMES DE FROTTEMENT	534
Observations visuelles	534
Essais de frottement	538
Facteurs d'ajustement du frottement	539
INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	541
RÉFÉRENCES	542

LISTE DES FIGURES

Figure EF-1	Microtexture et macrotecture	535
Figure EF-2	Relation entre microtexture, macrotecture, frottement et vitesse	535
Figure EF-3	Exemples – Appareils de mesure	538
Figure EF-4	Relation frottement-vitesse	540
Figure EF-5	Rapport entre le pourcentage de dérapage et le frottement	541

TABLEAU

Tableau EF-1	Relation frottement-vitesse	540
--------------	-----------------------------	-----

INTRODUCTION

Le risque d'accident augmente à mesure que l'adhérence de surface diminue. Le problème est pire aux sites où les besoins d'adhérence sont plus importants (p. ex. intersections, courbes horizontales, pentes descendantes) et les problèmes d'adhérence peuvent devenir un facteur d'accident important lorsque la surface de roulement est mouillée.

Cette étude technique décrit les principales observations devant être effectuées à un site pour vérifier si des défauts d'adhérence peuvent nuire à la sécurité et déterminer si des tests instrumentés sont requis. Cependant, elle ne décrit pas les très nombreux équipements et méthodes qui ont été développés au fil des ans pour détecter et quantifier les défauts des surfaces de roulement. Ce sujet est couvert dans des publications spécialisées (p. ex. AIPCR, 1995b; Ministère des transports du Québec, 2002, Miller et Bellinger, 2003).

QUAND EFFECTUER UNE ÉTUDE DE FROTTEMENT

Des tests instrumentés d'adhérence pourront s'avérer nécessaire au cours d'un diagnostic de sécurité lorsque :

- une forte proportion de collisions sur surface mouillée est survenue au site;
- la visite du site a conduit à la détection de caractéristiques pouvant être hasardeuses (voir **observations visuelles** ci-dessous);
- un traitement de surface a récemment été effectué pour corriger un problème d'adhérence.

Plusieurs administrations routières effectuent des tests d'adhérence de façon régulière sur l'ensemble de leur réseau, de façon à détecter les endroits problématiques et planifier les opérations d'entretien.

COMMENT DÉTECTER LES PROBLÈMES

On distingue deux principales approches pouvant être utilisées pour identifier les problèmes d'adhérence :

- 1) **observations visuelles** des caractéristiques de la surface de roulement
- 2) **tests instrumentés de frottement**

Des tests de frottement sont effectués, dans le cadre de diagnostics de sécurité, après que les observations visuelles au site ou l'analyse des accidents aient révélé l'existence de problèmes potentiels.

OBSERVATIONS VISUELLES

Une observation visuelle des caractéristiques de surface peut permettre de détecter différents défauts du revêtement de la route. Si plusieurs défauts d'unis peuvent être faciles à identifier, il peut en être autrement de certains problèmes d'adhérence qui ne sont pas nécessairement évidents à reconnaître par ceux qui ne sont pas experts en la matière.

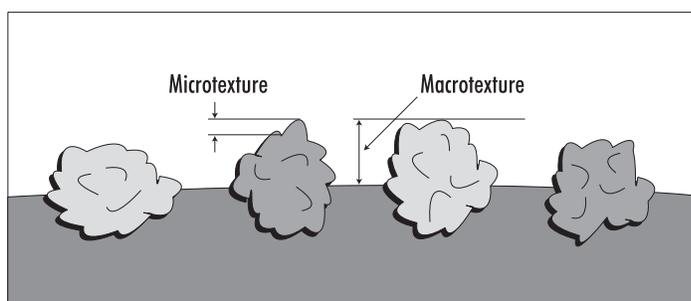
Comme la qualité d'adhérence est étroitement liée aux caractéristiques de la microtexture et de la macrotexture de la surface de roulement, ces deux propriétés sont tout d'abord décrites dans les prochains paragraphes. Par la suite, des causes fréquentes de problèmes d'adhérence sont discutées:

- **vieillessement des granulats;**
- **ressuage;**
- **accumulations d'eau;**
- **contamination de la surface de roulement.**

Microtexture et macrotexture

La **microtexture** de la surface de roulement est définie comme étant l'ensemble des aspérités dont la dimension verticale est inférieure ou égale à 0,5 mm. Elle résulte des irrégularités à la surface des agrégats du revêtement de surface. Elle détermine le niveau maximal d'adhérence pouvant être obtenu à faible vitesse et est souvent de ce fait décrite comme étant le paramètre de frottement à faible vitesse. La microtexture a néanmoins une influence sur la résistance au dérapage quelle que soit la vitesse.

Figure EF-1 Microtexture et macrotexture

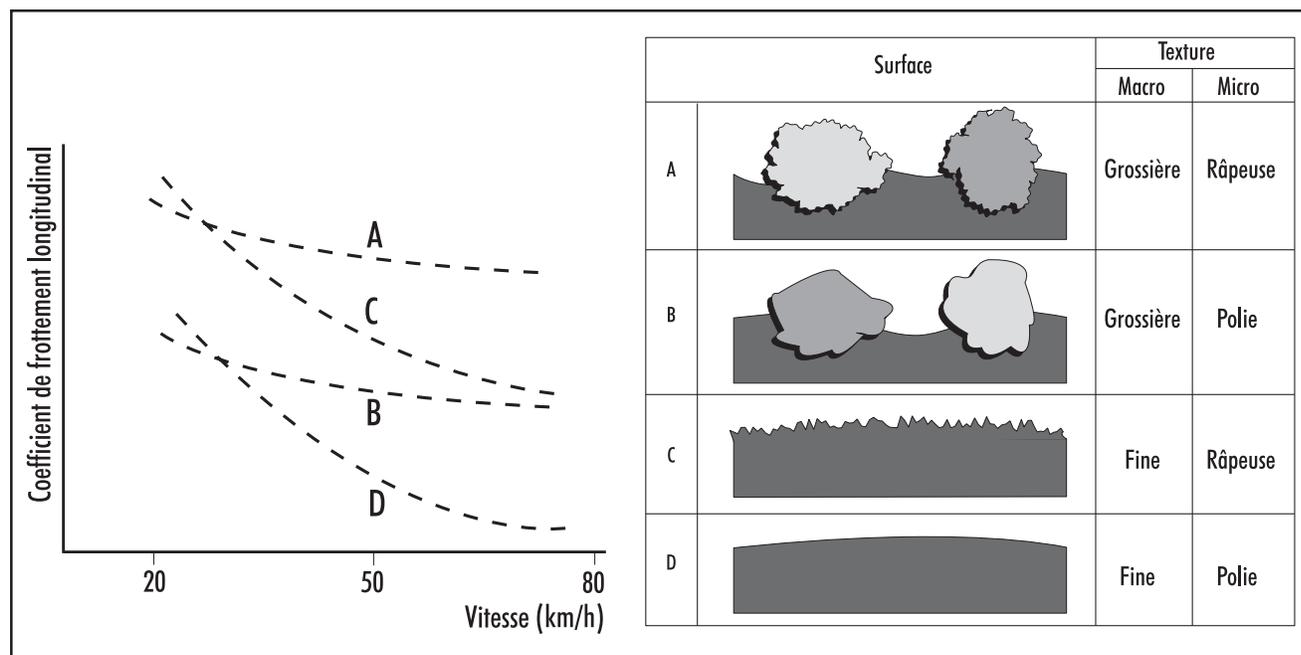


La **macrotexture** est définie comme étant l'ensemble des aspérités dont la dimension verticale est comprise entre 0,5 mm et 50 mm. Elle résulte de la présence d'agrégats grossiers dans le revêtement de surface. Les macrotextures supérieures à 0,8 mm sont très bonnes. La macrotexture permet l'écoulement de l'eau située à l'interface pneu-chaussée et détermine le taux de réduction de l'adhérence avec l'augmentation de la vitesse. Elle est souvent décrite comme le paramètre du gradient frottement-vitesse.

La microtexture peut se mesurer en laboratoire à l'aide d'un microscope mais les résultats d'essais de frottement effectués à faibles vitesses sont un bon indicateur de sa qualité.

La figure EF-2 illustre la relation entre microtexture, macrotexture, vitesse et frottement. Elle montre qu'à faible vitesse, une bonne microtexture suffit à assurer la qualité de l'adhérence alors qu'à vitesse plus élevée, il faut pour y parvenir une bonne microtexture et une bonne macrotexture.

Figure EF-2 Relation entre microtexture, macrotexture, frottement et vitesse



Source : OCDE, Caractéristiques de surface de revêtements routiers : leur interaction et leur optimisation, figure II.8.1 et figure II.8.2. Copyright OCDE, 1984.

Vieillessement des granulats

- Le polissage des granulats diminue les propriétés antidérapantes de la chaussée en éliminant graduellement la microtexture et la macrotexture originales.
- La résistance des granulats dépend de leur composition. Certains types de roches résistent très mal au polissage et à l'usure et il est préférable de ne pas les utiliser comme matériaux de chaussée (calcaire, dolomite) alors que d'autres offrent une bonne résistance (granite, grès, bauxite).

D'autres facteurs influencent aussi le taux de vieillissement des agrégats :

- le débit de circulation (et l'importance du trafic lourd);
- les vitesses pratiquées;
- les manœuvres d'accélération et de décélération;
- la présence de **contaminants de surface** (effet abrasif);
- l'usage de pneus à crampons.

Le vieillissement des granulats se reconnaît par l'aspect lisse de la surface de roulement.

Ressuage

Le **ressuage** est un défaut des pavages bitumineux où le bitume remonte à la surface et recouvre les granulats, réduisant ou éliminant la texture. Lorsque mouillée, la surface peut alors devenir extrêmement glissante.

Le ressuage peut résulter d'un surplus de bitume, d'une formulation incorrecte du bitume ou encore d'une combinaison de températures élevées et de véhicules lourds.

Le problème se reconnaît par une texture de surface noire et huileuse.

Accumulation d'eau

La présence d'eau sur la chaussée réduit la surface de contact entre le pneu et la route. Sous certaines combinaisons de textures de revêtement de surface, de caractéristiques des pneus, de vitesses des véhicules et d'épaisseurs de film d'eau, il peut y avoir une perte totale de contact entre les pneus et la chaussée. C'est l'aquaplanage et le conducteur perd alors le contrôle son véhicule.



Vieillessement des granulats
(Source: P. Langlois, Ministère des Transports du Québec)



Ressuage



Accumulation d'eau

- un très mince film d'eau est suffisant pour causer de l'aquaplanage. Ainsi, une étude américaine indique qu'une épaisseur de 0,025 mm d'eau sur la chaussée suffit à réduire le frottement pneu-chaussée jusqu'à 75 %, sur des surfaces offrant une faible résistance au dérapage (Harwood et al, 1989). Le risque d'aquaplanage dépend fortement de la vitesse du véhicule. À faible vitesse, ce risque est faible car l'eau a le temps d'être expulsé à l'extérieur de l'interface pneu-chaussée. À mesure que la vitesse augmente, cependant, l'eau peut rester piégée sous le pneu, surtout si la macrotexture est inadéquate.
- les déformations de la route qui empêchent le drainage (orniérage, affaissements localisés, tassements, etc.) peuvent contribuer à l'accumulation d'eau sur la chaussée et devraient être identifiées lors de la visite de terrain.

Dans les pays nordiques, la présence de glace ou de neige sur la chaussée peut aussi contribuer à réduire fortement le frottement. Dans certains de ces pays, des tests de frottement sont effectués en hiver, afin d'évaluer les conditions d'entretien hivernal. Les températures froides empêchent l'utilisation d'eau et c'est donc la présence de glace, de neige ou de gadoue sur la chaussée qui détermine la valeur d'adhérence mesurée (Wallman et Astrom, 2001).

Contamination de la surface de roulement

La contamination de surface peut prendre différentes formes :

- sable, gravier, terre;
- huile (déversements, résidus des véhicules);
- déchets agricoles, feuilles mortes;
- etc.

Les contaminants peuvent recouvrir la texture de la chaussée et contribuer à accélérer son vieillissement. Le résultat peut être particulièrement problématique en début de pluie après une longue période sèche, lorsque les contaminants forment une couche lisse et très glissante sur la surface de roulement.

Il faut, lors de la visite de site, identifier les sources de contamination et prendre les mesures qui s'imposent pour les éliminer.



Contamination de la surface

ESSAIS DE FROTTEMENT

Plusieurs équipements et procédures ont été mis au point pour mesurer les caractéristiques de la surface de roulement. Les résultats d'un sondage publié en 1995 par l'AIPCR font état de plus d'une centaine d'appareils de mesure. De ce nombre, 29 servent à mesurer le frottement.

Certains appareils mesurent directement le coefficient de frottement (longitudinal ou transversal) alors que d'autres mesurent plutôt les caractéristiques de la texture de surface (microtexture, macrotexture).

Les essais peuvent se diviser en deux catégories :

- les **essais statiques**, qui sont effectués à des sites spécifiques (p. ex. essai au pendule SRT);
- les **essais dynamiques** effectués à l'aide d'un pneu d'essai se déplaçant à vitesse constante sur la chaussée, souvent à des vitesses ne nuisant pas à la circulation (p. ex. appareil SCRIM).

Plusieurs facteurs influencent les résultats des essais :

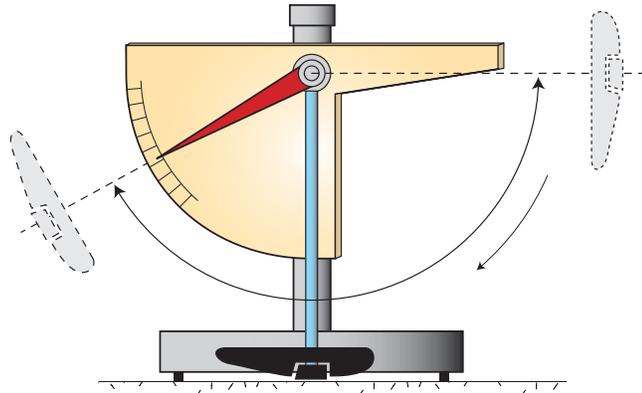
- les caractéristiques de la surface de roulement (micro et macro texture, contamination, uni);
- la profondeur d'eau à l'interface chaussée/pneu;
- les caractéristiques des pneus (motif, composition de la gomme, dimension);
- la vitesse du véhicule;
- le taux de glissement;
- la charge sur la roue;
- la température.

Il est donc essentiel que les essais soient effectués suivant des procédures normalisées, afin d'éviter les biais d'interprétation. Les normes ASTM décrivent plusieurs de ces procédures d'essais.

Au niveau international, des efforts sont effectués pour développer des outils et méthodes facilitant la comparaison entre les résultats des essais de frottement rapportés dans différents pays. Un indice international de frottement (IIF) a ainsi été proposé. Il s'agit d'une échelle commune de frottement qui est indépendante de l'appareil de mesure utilisé. Cet indice est maintenant décrit dans la norme ASTM E-1960.

Figure EF-3 Exemples – Appareils de mesure

Pendule SRT (ASTM E 303)



L'essai consiste à laisser tomber un pendule, muni à son extrémité d'un patin de caoutchouc. La perte d'énergie résultant du frottement de ce patin sur une surface d'essai permet d'en déterminer l'adhérence.

Camion pour essai SCRIM¹



Le SCRIM est utilisé pour mesurer la résistance au dérapage sur surface mouillée. Un camion, équipé d'une roue d'essai, se déplace à vitesse constante sur le réseau routier (habituellement 50 km/h). La roue d'essai est en rotation libre et alignée à environ 20° par rapport au sens de déplacement. Un jet d'eau d'épaisseur constante est dispersé devant cette roue qui est appliquée à la surface de roulement selon une force normale (charge) connue. La force de résistance au dérapage est alors mesurée.

¹ SCRIM : Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine, ou « appareil d'essai périodique du coefficient de frottement transversal ».

FACTEURS D'AJUSTEMENT DU FROTTEMENT

Les résultats de tests de frottement doivent être ajustés lorsqu'il s'agit d'évaluer les caractéristiques d'adhérence pour des conditions qui diffèrent de façon significative de celles des essais, ce qui est souvent le cas lors de reconstitutions d'accidents. En ce qui concerne les diagnostics de sécurité, il peut être nécessaire d'effectuer des ajustements pour tenir compte de l'influence des vitesses, des températures et des pourcentages de blocage des roues.

Vitesse du véhicule

De façon générale, l'adhérence entre les pneus et la surface de roulement diminue à mesure que la vitesse augmente. Le taux de diminution varie selon les caractéristiques de surface. Il est plus élevé lorsque la macrotexture est déficiente et sur les chaussées bitumineuses (par rapport aux chaussées en béton). Deux procédures d'ajustement sont décrites (directe et une indirecte) :

- **La méthode directe**

Cette méthode exige que des essais de frottement soient effectués à différentes vitesses au site étudié. On peut alors, à partir des résultats obtenus, développer une équation de régression entre la vitesse et le coefficient de frottement de la surface de roulement. Comme toujours, le choix de forme fonctionnelle de cette équation doit être adaptée aux données recueillies, mais dans la plupart des cas, une équation linéaire ou exponentielle est adéquate. Cette équation est ensuite utilisée pour ajuster la valeur d'adhérence mesurée (voir *exemple*).

Forme fonctionnelle	Équation	
Linéaire	$cf_v = cf_0 - \beta V$	[Eq. EF-1]
Exponentielle	$cf_v = cf_0 * \exp(-\beta V)$	[Eq. EF-2]

- **La méthode indirecte**

Lorsqu'un ne peut effectuer des essais de frottement à différentes vitesses, la relation entre adhérence de surface et vitesse peut-être établie de manière approximative, à partir des propriétés de la microtexture et de la macrotexture (Leu et Henry, 1978).

L'*indice de glissance* à une vitesse donnée peut s'estimer en utilisant l'indice de glissance à vitesse nulle (SN_0) et le gradient frottement-vitesse normalisé, (PNFSG). Le SN_0 s'estime au moyen d'un essai au pendule SRT et le PNFSG s'estime au moyen d'un essai de hauteur de sable.

$$SN_v = SN_0 \exp[-(PNFSG/100) V]$$

où: [Eq. EF-3]

$$SN_0 = -31 + 1,38BPN$$

(BPN - British pendulum number - est le résultat d'un essai au pendule SRT)

$$PNFSG = 0,45(MD)^{-0,47}$$

(MD est la profondeur de texture moyenne mesurée lors d'un essai de hauteur de sable).

La relation entre frottement et vitesse peut donc s'établir à l'aide des résultats de deux essais statiques simples (pendule SRT et la hauteur de sable).

Les aides de calculs de ce manuel qui utilisent le coefficient de frottement comme variable indépendante, permettent les calculs avec des coefficients de frottement fixes ou variables (en fonction de la vitesse). Pour le cas variable, l'analyste a le choix entre trois formes fonctionnelles (linéaire, exponentielle ou Leu et Henry) et il doit préciser les valeurs paramètres correspondants.

Exemple – Ajustement frottement-vitesse (diagnostic de sécurité)

Supposons que l'analyse ait mis en évidence une concentration d'accidents sur chaussée mouillée à une section de route rurale. La vitesse affichée est de 90 km/h.

Les observations effectuées au site ont révélé que la texture de surface y est lisse et polie. Des essais d'adhérence ont été effectués entre 40 km/h et 70 km/h et ont permis de développer l'équation linéaire suivante (tableau EF-1 et figure EF-4)

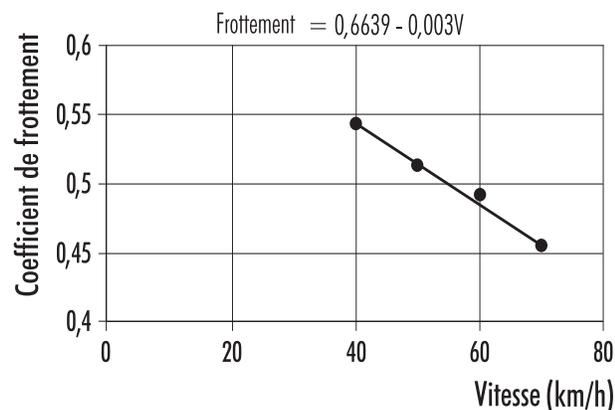
$$f_v = 0,6639 - 0,003V$$

Tableau EF-1 Relation frottement-vitesse

VITESSE(Km/h)	FROTTEMENT
40	0,5460
50	0,5130
60	0,4920
70	0,4545

Une étude de vitesse instantanée indique que la vitesse au 85^e centile est de 112 km/h. À cette vitesse, la valeur correspondante de $f_{l,112}$ est de 0,33 (en direction Ouest). Cette valeur est très similaire à celle utilisée en conception (0,30) qui constitue un strict minimum. Le coefficient de frottement de la surface doit être amélioré.

Figure EF-4 Relation frottement-vitesse



Température

Le coefficient de frottement d'une surface de roulement décroît à mesure que la température augmente. Sur certaines chaussées, on a mesuré des variations pouvant atteindre 2 points de frottement transversal par degré °C (Amiri, 1997). Les variations sont plus importantes sur les chaussées bitumineuses et aux endroits où la macrotexture est mauvaise.

Quand il faut évaluer le coefficient de frottement pour une température qui est très différente de celle de l'essai, il faut donc ajuster les résultats. En outre, lorsque l'objectif est d'établir le pire niveau de frottement auquel on peut raisonnablement s'attendre à un site, il faut choisir une température qui soit suffisamment élevée pour être représentative de ces conditions.

Plusieurs méthodes ont été proposées pour effectuer cet ajustement frottement-température; comme pour la vitesse, il est possible de le faire en développant une équation de régression à partir des résultats d'essais de frottement effectués à différentes températures.

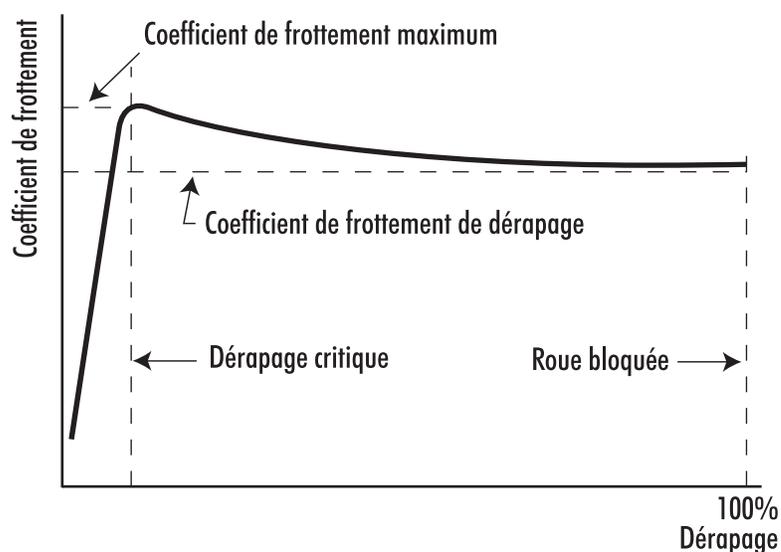
Taux de glissement

Le pourcentage de dérapage se définit à partir de la différence entre la vitesse angulaire d'une roue et la vitesse du véhicule pendant le freinage. Le pourcentage de dérapage d'une roue en roulement libre est de 0 % puisque sa vitesse est identique à celle du véhicule. Par contre, une roue bloquée fonctionne à un pourcentage de dérapage de 100 % puisqu'elle n'a aucune vitesse angulaire - les pneus glissent sur la chaussée.

La valeur du coefficient de frottement varie en fonction du pourcentage de dérapage. Elle augmente rapidement avec ce dernier, pour atteindre une valeur maximale lorsque le pourcentage de dérapage se situe entre 10 % et 20 % (dérapage critique). Le coefficient de frottement décroît ensuite lentement pour atteindre, à 100 %, une valeur dite coefficient de frottement de dérapage (figure EF-5).

Les systèmes de freinage antiblocage empêchent les roues du véhicule de se bloquer et permettent d'obtenir un coefficient de frottement qui se rapproche de la valeur de crête, ce qui tend à réduire au minimum la distance de freinage.

Figure EF-5 Relation entre le pourcentage de dérapage et le frottement



Sans frein antiblocage, les conducteurs ont tendance à bloquer les roues lors d'un freinage d'urgence, ce qui augmente la distance de freinage.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Dans plusieurs pays, des directives - certaines simples, d'autres plus complexes - prévoient les mesures devant être prises en fonction des résultats d'essais de frottement. Ainsi par exemples :

- en Finlande, les seuils critiques de coefficients de frottement sont liés aux limites de vitesse. Sur les routes où la vitesse à 80 km/h, la valeur minimale du coefficient de 0,4 comparativement à 0,5 pour celles limitées à 100 km/h et 0,6 pour celles où la vitesse limite est de 120 km/h. (Wallman et Astrom, 2001);
- en Angleterre, le réseau comprend 13 catégories de sites, chacune ayant un seuil spécifique d'investigation (*tableau SR-4*).

RÉFÉRENCES

- PIARC (1995)** *Report of the surface characteristics Committee, XXth World Road Congress, Montréal, Canada.*
- PIARC (1995b)** *Inventory of road surface characteristics measuring equipment, PIARC Technical Committee on Surface Characteristics.*
- Amiri A. (1997)** *Guide pour identification et diagnostic préliminaire des chaussées glissantes et modes d'intervention.* Ministère des Transports du Québec.
- American Society for Testing and Materials (1999)** *Standard practice for calculating international friction index of a pavement surface.* ASTM Standard Practice E 1960, Book of ASTM Standards, V4.03.
- Harwood, D.W., Mason, J.M., Glauz, W.D., Kulakowski, B.T. and Fitzpatrick, K. (1989)** *Truck characteristics for use in highway design and operation, Volume I, Research Report, FHWA-RD-89-226, Federal Highway Administration.*
- Leu, M.C. and Henry, J.J. (1978)** *Prediction of skid resistance as a function of speed from pavement texture measurements, Transportation Research Record 666, pp. 7-13, Transportation Research Board, Washington, DC.*
- Miller, J.S. and Bellinger, W.Y. (2003)** *Distress identification manual for the long-term pavement performance program, Fourth Revised Edition, FHWA-RD-03-031, Federal Highway Administration, 164 p.*
(<http://www.tfhrc.gov/pavement/ltpa/reports/03031/>).
- Ministère des Transports du Québec (2002)** *Manuel d'identification des dégradations des chaussées flexibles,* Ministère des Transports du Québec, Québec.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (1984)** *Caractéristiques de surface de revêtements routiers : leur interaction et leur optimisation, Paris.*
- Olson, P.L., Cleveland, D.E., Fancher, P.S., Kostyniuk, L.P. and Schneider, L.W. (1984)** *Parameters affecting stopping sight distance, NCHRP Report 270, Transportation Research Board, Washington, DC.*
- Transit New Zealand. (2002)** *Specification for skid resistance investigation and treatment selection, TNZ T10: 2002*
(http://www.transit.govt.nz/technical_information/content_files/Specification88_pdfFile.pdf).
- Wallman, C. and Astrom, H. (2001)** *Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety, A literature review, VTI meddelande 911A, Swedish National Road and Transport Research Institute, 47 p.* (<http://www.vti.se/pdf/reports/M911A.pdf>).

DISTANCE DE VISIBILITÉ

Étude technique

Patrick Barber et Carl Bélanger

DISTANCE DE VISIBILITÉ

Étude technique

	Page
INTRODUCTION	548
QUAND MESURER LA DISTANCE DE VISIBILITÉ	548
COMMENT MESURER LA DISTANCE DE VISIBILITÉ	548
→ Mesures sur le terrain	549
→ Mesures sur plan	554
RÉFÉRENCES	556

LISTE DES FIGURES		
Figure EDV-1	Exemple – Cible et dispositif de visée	549
Figure EDV-2	Distance de visibilité d'arrêt ou d'anticipation en intersection	551
Figure EDV-3	Distances d'arrêts requises aux intersections et carrefours giratoires	551
Figure EDV-4	Distance de visibilité de manoeuvre en intersection	552
Figure EDV-5	Manoeuvres non prioritaires à une intersection conventionnelle	552
Figure EDV-6	Triangle de visibilité en intersection	553
Figure EDV-7	Triangles de visibilité	553
Figure EDV-8	Distance de visibilité en courbe horizontale et verticale	554
Figure EDV-9	Distance de visibilité sur un plan du profil horizontal	555
Figure EDV-10	Distance de visibilité sur un plan du profil vertical	555

LISTE DES TABLEAUX		
Tableau EDV-1	Hauteur des yeux des conducteurs et hauteur de l'objet	550
Tableau EDV-2	Triangles de visibilité – Intersections conventionnelles sans contrôle	553
Tableau EDV-3	Triangles de visibilité – Carrefours giratoires	553

INTRODUCTION

Lors d'une étude de sécurité, l'analyste doit vérifier si les usagers de la route qui circulent à une vitesse raisonnable (V_{85}) bénéficient d'une visibilité suffisante pour pouvoir immobiliser leur véhicule de façon sécuritaire en tout point du réseau. La visibilité disponible doit aussi leur permettre de compléter toutes les manœuvres permises de façon sécuritaire. Pour se faire, il faut mesurer les **distances de visibilité disponibles** au site et les comparer aux **distances de visibilité requises** qui sont prévues aux normes de conception routière.

Différents critères de visibilité doivent être vérifiés, selon le type de site étudié : distance de visibilité d'arrêt, de manœuvre, de dépassement, etc. Ces critères sont décrits dans la fiche technique **distance de visibilité**. Cette étude technique décrit comment mesurer les distances de visibilité disponibles.

QUAND MESURER LA DISTANCE DE VISIBILITÉ

Au cours d'un diagnostic de sécurité, il peut être nécessaire d'effectuer une étude de visibilité pour l'un ou l'autre motifs suivants :

- les observations au site ont mis en évidence des lacunes de visibilité (une évaluation sommaire des distances de visibilité disponibles doit être effectuée dans toutes les études de sécurité);
- l'analyse des accidents révèle des problèmes pouvant être reliés à une lacune de visibilité (la visite du site permettra de valider la nécessité d'effectuer une étude de visibilité);
- des plaintes ont été formulées à l'égard des distances de visibilité (usagers de la route, élus, policiers, etc.).

COMMENT MESURER LA DISTANCE DE VISIBILITÉ

Il est possible de déterminer les distances de visibilité par mesures sur plans ou à l'aide d'équations mathématiques. Ces méthodes sont utilisées à l'étape de conception routière afin de s'assurer de la conformité des projets en préparation avec les normes en vigueur.

Pour les routes existantes, les mesures de visibilité sur le terrain sont cependant recommandées car elles permettent de détecter certaines obstructions visuelles qui ne seraient pas nécessairement identifiables autrement (p. ex. présence de végétation sur les abords de route, panneau publicitaire, nouveau bâtiment, etc.).

Cette étude de génie porte donc principalement sur la description des méthodes de **mesures de distances de visibilité sur le terrain**.

Les **méthodes des mesures sur plan** sont décrites à titre d'information.

Les équations de calcul des distances de visibilité en courbes horizontales et en courbes verticales sont décrites dans les annexes des fiches techniques correspondantes :

Tracé en plan - Annexe TP-4

Profil en long - Annexe PL-4

MESURES SUR LE TERRAIN

Ces mesures peuvent s'effectuer à l'aide de jalons ou de véhicules. Les équipements nécessaires sont les suivants :

Équipement requis

Avec jalons :

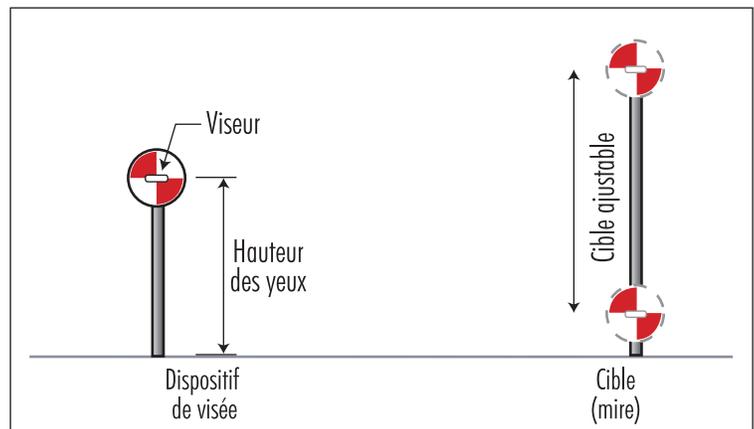
- 2 personnes;
- 2 jalons : un dispositif de visée et une cible ajustable (fig. EDV-1);
- une roue à mesurer;
- moyen de communication à distance (recommandé).

Avec véhicules :

- 2 personnes;
- 2 véhicules (dont un est muni d'une cible à la hauteur appropriée);
- odomètre de précision;
- moyen de communication à distance.

Les observateurs doivent être munis de l'équipement de protection standard (casque, veste et bottes de sécurité). De plus, si les conditions de circulation ou de visibilité l'exigent, des mesures de protection additionnelles doivent être prévues (fermeture de voies, véhicule patrouille, etc.).

Figure EDV-1 Exemple – Cible et dispositif de visée



Mesure de visibilité à l'aide d'une roue à mesurer

Hauteur des yeux et hauteur de l'objet observé

La distance de visibilité mesurée peut varier de façon significative selon les hauteurs des yeux et des objets considérés.

Hauteur des yeux

Les normes de conception routière définissent les véhicules types et hauteurs des yeux correspondantes qui sont à utiliser pour chacun des critères de visibilité. Dans la plupart des cas, c'est la hauteur des yeux d'un conducteur de véhicule passager qui est recommandée, en assumant que la position surélevée des conducteurs de véhicules lourds compense pour les moindres performances de ces véhicules (accélération et décélération). Certaines situations nécessitent cependant le choix du véhicule lourd comme véhicule type (p. ex. *dégagement latéral en courbe horizontale, courbe verticale*). La hauteur du dispositif de visée doit correspondre à la valeur recommandée dans les normes d'un pays.

Pour les études avec véhicules, il faut éviter l'utilisation de véhicules de hauteur non-conformes (p. ex. ne pas utiliser de camionnettes lorsque le véhicule type est une automobile, ce qui aurait pour effet d'accroître artificiellement les distances de visibilité mesurées).

Hauteur des objets

La hauteur de l'objet varie de façon importante selon le critère de visibilité et le pays considéré. Elle se situe par exemple, entre 0 et 0,60 m pour la distance d'arrêt et entre 1,0 et 1,3 m pour la distance de dépassement (tableau EDV-1).

Pour les mesures avec jalons, on utilise généralement une cible ajustable, sur laquelle est clairement indiquée chacune des hauteurs d'objets pouvant être considérées. On peut alternativement utiliser plusieurs jalons avec cibles fixes à des hauteurs différentes. Pour les mesures avec véhicules, les hauteurs des cibles doivent être facilement identifiables (utiliser au besoin des repères visuels spécifiques).

Tableau EDV-1 Hauteur des yeux des conducteurs et hauteur de l'objet

PAYS	HAUTEUR DES YEUX VÉHICULE PASSAGER ¹ (m)	HAUTEUR DE L'OBJET AU-DESSUS DE LA CHAUSSÉE (m)		
		DISTANCE DE VISIBILITÉ D'ARRÊT (ET D'ANTICIPATION)	DISTANCE DE VISIBILITÉ DE DÉPASSEMENT (ET DE RENCONTRE)	DISTANCE DE VISIBILITÉ EN INTERSECTION
Afrique du Sud	1,05	0,15-0,60	1,30	1,30
Allemagne	1,00	0,00-0,45	1,00	1,00
Australie	1,15	0,20	1,15	1,15
Autriche	1,00	0,00-0,19	1,00	-
Canada	1,05	0,38	1,30	1,30
États-Unis	1,07	0,15	1,30	1,30
France	1,00	0,35	-	1,00
Grande-Bretagne	1,05	0,26	-	-
Grèce	1,00	0,00-0,45	1,00	-
Suède	1,10	0,20	-	-
Suisse	1,00	0,15	-	-

Source : Harwood et al., 1995

Les procédures de mesure varient selon le type de critère considéré; elles varient aussi en intersection et en section. Les sections suivantes de cette étude technique décrivent comment effectuer les mesures.

¹ Pour les véhicules lourds, ces valeurs varient entre 1,8 à 2,5 m, selon le pays .

PROCÉDURE : MESURES SUR LE TERRAIN

TYPE DE SITE : INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES ET CARREFOURS GIRATOIRES

CRITÈRES DE VISIBILITÉ : ARRÊT ET ANTICIPATION

1. Une personne s'installe avec la cible à l'endroit correspondant à l'arrière d'un véhicule immobilisé à l'intersection (point 2). Cette personne est immobile.
2. L'autre personne se positionne avec le dispositif de visée sur cette même approche, en amont de l'intersection. Elle avance jusqu'à ce qu'elle puisse apercevoir la cible, ce qui correspond au point 1.
3. La **distance de visibilité disponible** est alors mesurée sur la route, en suivant la voie de circulation (figure EDV-2).
4. A une intersection conventionnelle, la distance de visibilité disponible doit être mesurée sur chacune des approches. A un carrefour giratoire, elle doit être mesurée sur chacune des approches, dans l'anneau et à la sortie du giratoire (figure EDV-3). A ce dernier point, il faut apporter une attention particulière à la visibilité des traverses piétonnes.

Figure EDV-2 Distance de visibilité d'arrêt ou d'anticipation en intersection

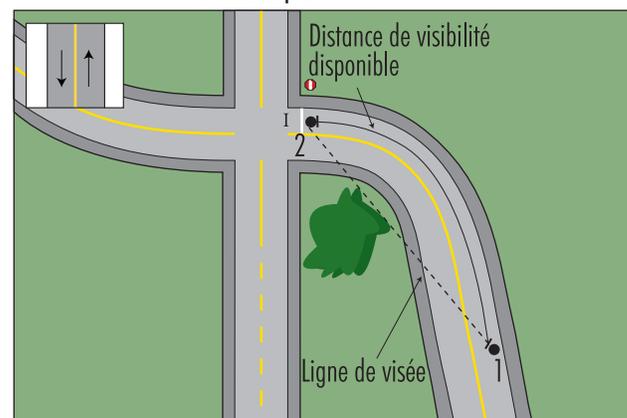
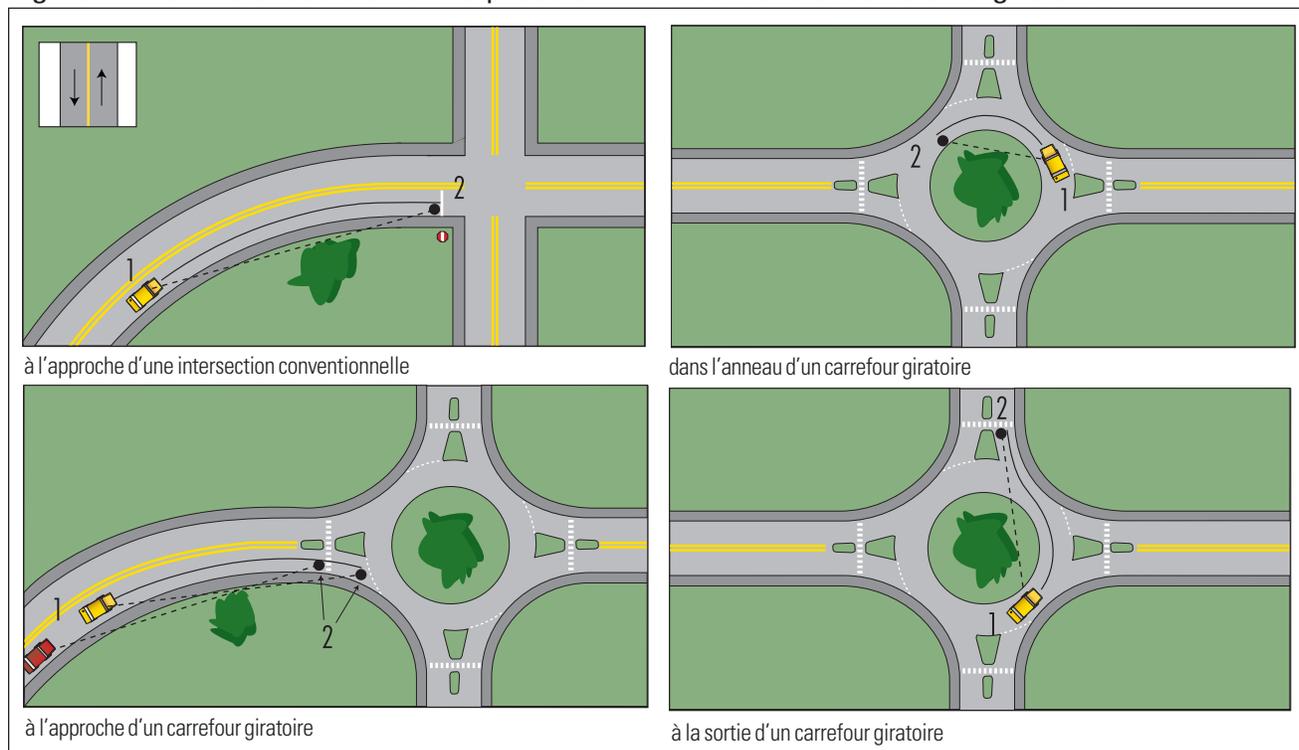


Figure EDV-3 Distances d'arrêts requises aux intersections et carrefours giratoires



Notes

- La méthode est similaire pour les mesures avec véhicules; l'un est utilisé comme dispositif de visée, l'autre comme cible.
- **La limite d'empiètement de la ligne de visée sur les abords de route doit tenir compte des possibilités d'obstructions visuelles temporaires ou saisonnières (véhicules stationnés, cultures, accumulations de neige, etc.).**
- Dans l'anneau d'un carrefour giratoire, la distance de visibilité disponible est mesurée en fonction d'une trajectoire circulaire décalée de 2 m par rapport au périmètre de l'îlot central.

PROCÉDURE: MESURES SUR LE TERRAIN
 TYPE DE SITE: INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES (MANŒUVRES NON PRIORITAIRES)
 CRITÈRE DE VISIBILITÉ: DISTANCE DE VISIBILITÉ DE MANŒUVRE

1. Une personne s'installe avec le dispositif de visée, à la position d'un conducteur immobilisé à l'intersection (point 1). Cette personne est immobile.
2. L'autre personne se positionne avec la cible sur une approche adjacente, en amont de l'intersection. Elle avance jusqu'à ce que la personne située au point 1 puisse apercevoir la cible, ce qui correspond au point 2.
3. La **distance de visibilité disponible** est alors mesurée sur la route, en suivant la voie de circulation (voir figure EDV-4).
4. A une intersection conventionnelle, les distances de visibilité disponibles doivent être mesurées pour toutes les manœuvres non prioritaires qui sont permises (figure EDV-5).

Figure EDV-4 Distance de visibilité de manœuvre en intersection

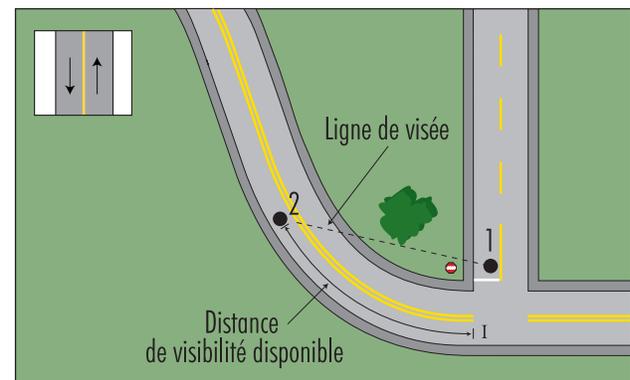
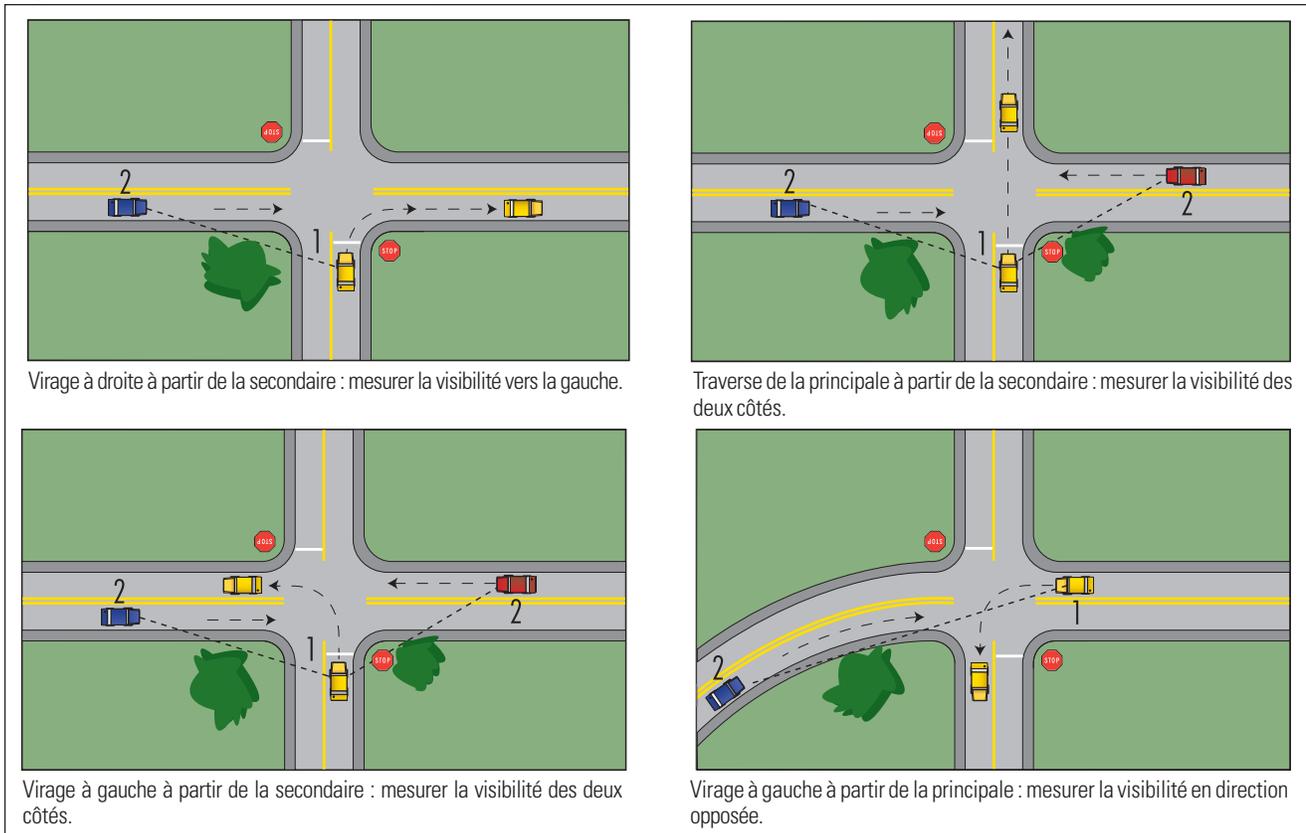


Figure EDV-5 Manœuvres non prioritaires à une intersection conventionnelle



Notes

- La méthode est similaire pour les mesures avec véhicules; l'un est utilisé comme dispositif de visée, l'autre comme cible.
- **La limite d'empiètement de la ligne de visée sur les abords de route doit tenir compte des possibilités d'obstructions visuelles temporaires ou saisonnières (véhicules stationnés, cultures, accumulations de neige, etc.).**

PROCÉDURE: MESURES SUR LE TERRAIN
TYPE DE SITE: INTERSECTIONS CONVENTIONNELLES (SANS CONTRÔLE OU CÉDEZ), CARREFOURS GIRATOIRES
CRITÈRE DE VISIBILITÉ: TRIANGLE DE VISIBILITÉ

1. Une personne s'installe avec le dispositif de visée au point 1 et demeure immobile. L'emplacement de ce point varie selon la vitesse affichée (les valeurs utilisées aux États-Unis sont indiquées aux tableaux EDV-2 et EDV-3).
2. La deuxième personne se positionne avec la cible sur une approche adjacente, en amont de l'intersection. Elle avance jusqu'à ce que la personne située au point 1 puisse apercevoir la cible, ce qui correspond au point 2 ou 3.
3. La longueur D2 ou D3 est alors mesurée, tel qu'indiquée à la figure EDV-6.
4. A une intersection conventionnelle (sans contrôle ou avec cédez), les triangles de visibilité doivent être mesurés sur chaque approche et dans chacune des directions d'où peut provenir un véhicule. Aux carrefours giratoires, les pseudotriangles de visibilité doivent être mesurés sur chacune des approches. Il faut y vérifier la visibilité des véhicules se dirigeant vers le carrefour à partir de l'approche adjacente en amont (D2), et celle des véhicules circulant sur l'anneau (D3) (figure EDV-7).

Figure EDV-6 Triangle de visibilité en intersection

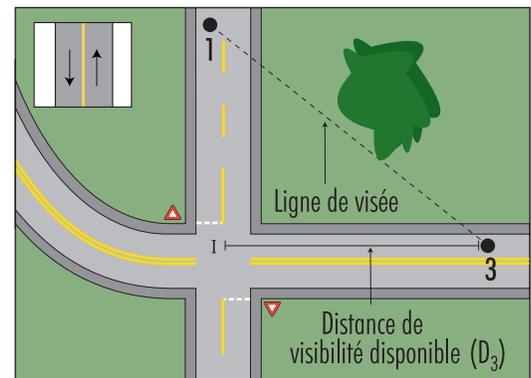


Figure EDV-7 Triangles de visibilité

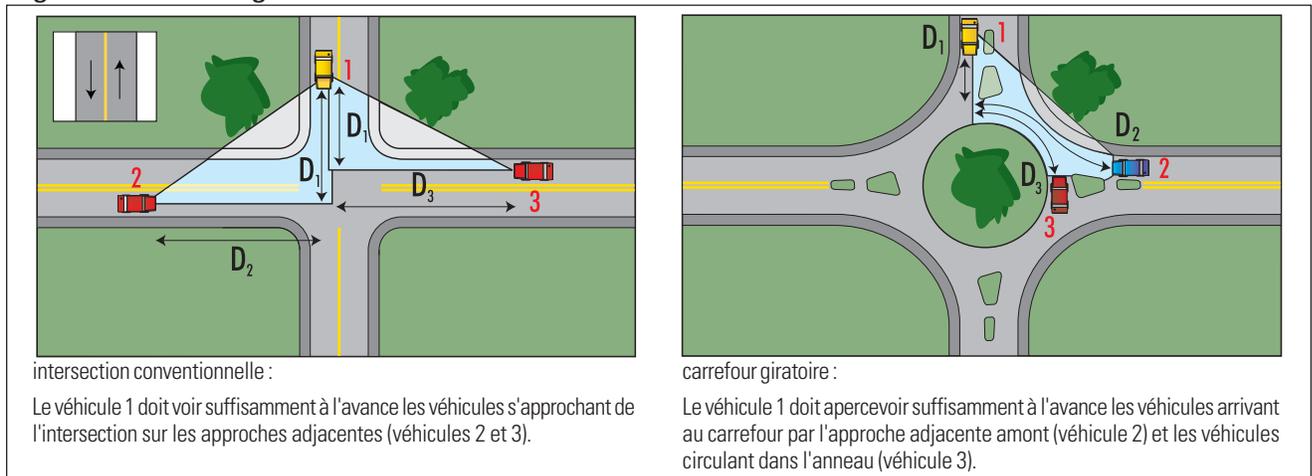


Tableau EDV-2 Triangles de visibilité – Intersections conventionnelles sans contrôle

VITESSE DE CONCEPTION DE L'APPROCHE (km/h)	DISTANCE D ₁ , D ₂ ET D ₃ (m)
30	25
50	45
70	65
90	90
100	105
120	135

Source: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001

Tableau EDV-3 Triangles de visibilité – Carrefours giratoires

VITESSE DE LA CIRCULATION CONFLICTUELLE (km/h)	DISTANCE D ₁ (m)	DISTANCES D ₂ ET D ₃ (m)
20	15	36
25	15	45
30	15	54
35	15	63
40	15	72

Source: Federal Highway Administration, 2000

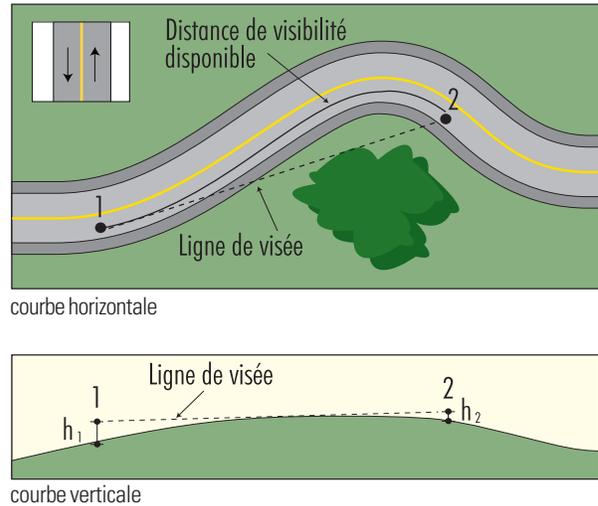
Notes

- La méthode est similaire pour les mesures avec véhicules; l'un est utilisé comme dispositif de visée, l'autre comme cible.
- **La limite d'empiètement de la ligne de visée sur les abords de route doit tenir compte des possibilités d'obstructions visuelles temporaires ou saisonnières (véhicules stationnés, cultures, accumulations de neige, etc.).**

PROCÉDURE : MESURES SUR LE TERRAIN
 TYPE DE SITE: SECTION
 CRITÈRES DE VISIBILITÉ: ARRÊT, DÉPASSEMENT, RENCONTRE, ANTICIPATION

1. Deux personnes s'installent au début de la section à l'étude.
2. La personne munie du dispositif de visée reste immobile (point 1). L'autre personne s'éloigne lentement avec la cible, jusqu'au point où la personne munie du dispositif de visée ne peut plus apercevoir la cible, ce qui correspond au point 2.
3. La **distance de visibilité disponible** est alors mesurée sur la route, en suivant la voie de circulation (voir figure EDV-8).
4. La personne munie du dispositif de visée (point 1) avance d'un intervalle prédéterminé (10 m, 20 m ou 50 m par exemple) et la même procédure est répétée jusqu'à ce que la section à l'étude soit entièrement couverte.

Figure EDV-8 Distance de visibilité en courbe horizontale et verticale



Notes

- La méthode est similaire pour les mesures avec véhicules; l'un est utilisé comme dispositif de visée, l'autre comme cible.
- **La limite d'empiètement de la ligne de visée sur les abords de route doit tenir compte des possibilités d'obstructions visuelles temporaires ou saisonnières (véhicules stationnés, cultures, accumulations de neige, etc.).**
- De façon souhaitable, les mesures devraient être effectuées en utilisant des positions qui sont représentatives de la réalité² (p. ex. pour la distance de visibilité de dépassement, le dispositif de visée sera situé au centre de la voie et la cible sera située dans la voie opposée).

MESURES SUR PLAN

Les distances de visibilité disponibles peuvent aussi être mesurées en utilisant des plans détaillés de l'alignement horizontal ou vertical de la route³.

Les mesures de visibilité sur plan s'effectuent principalement à l'étape de conception routière, afin de vérifier si l'alignement proposé répond aux exigences de visibilité des normes. Ce type de méthode permet aussi de vérifier si les améliorations envisagées à un alignement existant permettront de corriger un problème de visibilité. Tel que mentionné en introduction, il est cependant recommandé de procéder à des mesures au site pour les routes existantes, afin de détecter des obstructions visuelles qui ne sont pas nécessairement visibles sur plans (p. ex. végétation sur les abords de route, nouveau bâtiment, etc.).

Certains logiciels de conception routière intègrent maintenant des algorithmes de calcul des distances de visibilité disponibles en fonction des caractéristiques d'un l'alignement horizontal et vertical.

Matériel requis :

- plan du site analysé :
 - vue en plan pour les mesures de visibilité en courbes horizontales;
 - vue en profil pour les mesures de visibilité en courbes verticales.
- règle.

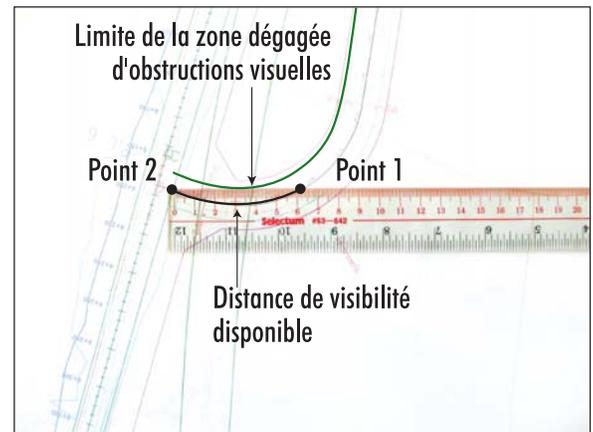
² Comme toujours, il faut au préalable s'assurer que les méthodes d'observations soient tout à fait sécuritaires pour les observateurs et les usagers de la route.

³ Les méthodes décrites dans cette étude technique ne doivent pas être utilisées pour les combinaisons de courbes horizontales et verticales car les résultats peuvent être inexacts.

MESURES SUR PLAN (PROFIL HORIZONTAL)

1. Les emplacements des points 1 (point de visée) et 2 (cible) sont similaires à ceux décrits à la section précédente; ils varient en fonction du critère de visibilité considéré.
2. Une extrémité de la règle est posée au point de visée (point 1).
3. La règle est pivotée autour de ce point 1 jusqu'à ce que son côté atteigne la limite de la zone dégagée d'obstructions visuelles en bordure de la route.
4. Il faut alors s'éloigner de ce point en suivant la règle, jusqu'à l'endroit où elle réintègre la voie de roulement, ce qui correspond au point 2.
5. La distance de visibilité disponible est alors mesurée en suivant les voies de circulation (figure EDV-9).

Figure EDV-9 Distance de visibilité sur un plan du profil horizontal



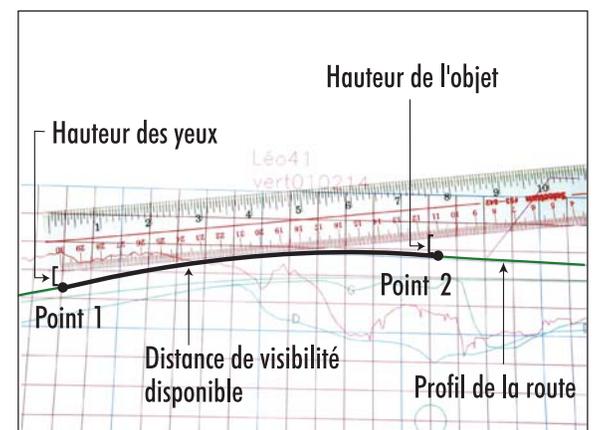
Notes

- **La limite d'empiètement de la ligne de visée sur les abords de route doit tenir compte des possibilités d'obstructions visuelles temporaires ou saisonnières (véhicules stationnés, cultures, accumulations de neige, etc.).**
- De façon souhaitable, les mesures devraient être effectuées en utilisant des positions qui sont représentatives de la réalité (p. ex. pour la distance de visibilité de dépassement, le dispositif de visée sera situé au centre des voies et la cible sera située dans la voie opposée).

MESURES SUR PLAN (PROFIL VERTICAL)

1. Les emplacements des points 1 (point de visée) et 2 (cible) sont similaires à ceux décrits à la section précédente; ils varient en fonction du critère de visibilité considéré.
2. Une extrémité de la règle est posée au point de visée (point 1), à une hauteur qui est représentative de la hauteur des yeux des conducteurs (voir **tableau EDV-1**).
3. La règle est pivotée autour de ce point 1 fixe jusqu'à ce que le côté de la règle atteigne la ligne du profil de la route.
4. On s'éloigne alors de ce point en suivant la règle jusqu'à l'endroit où il n'est plus possible de voir une cible de hauteur requise (voir **tableau EV-1**), ce qui correspond au point 2.
5. La distance de visibilité disponible est alors mesurée en suivant le profil de la route (**figure EDV-10**).

Figure EDV-10 Distance de visibilité sur un plan du profil vertical



RÉFÉRENCES

American Association of State Highway and Transportation Officials (2001) *A Policy on geometric design of highways and streets, fourth edition*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC., 905 p.

Federal Highway Administration (2000) *Roundabouts: An Informational Guide*, FHWA-RD-00-067, Federal Highway Administration, Washington, DC., 268 p.

Harwood, D.W., Fambro, D.B., Fishburn, B., Joubert, H., Lamm, R. et Psarianos, B. (1995) *International sight distance design practices*, International symposium on highway geometric design practices, Transportation Research Board, Boston, Massachusetts.

TEMPS DE DÉPLACEMENT ET RETARDS

Étude technique

Patrick Barber

TEMPS DE DÉPLACEMENT ET RETARDS

Étude technique

	Page
INTRODUCTION	562
QUAND EFFECTUER UNE ÉTUDE DES RETARDS	562
COMMENT EFFECTUER UNE ÉTUDE DES RETARDS	563
→ Section de route – Véhicule test	563
→ Intersection – Méthode manuelle	566
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	569
RÉFÉRENCE	570
ANNEXE TD-1 FORMULAIRES	571

LISTE DES FIGURES

Figure TD-1	Exemple – Relevé des temps de déplacements et retards	565
Figure TD-2	Exemple – Relevé des retards à une intersection	568
Figure TD-3	Mesure des temps de déplacements	569
Figure TD-4	Sommaire graphique d'une étude des temps de déplacements et retards	569

LISTE DES TABLEAUX

Tableau TD-1	Méthodes de mesures des retards décrites dans cette étude	563
Tableau TD-2	Nombre minimal de parcours requis	564
Tableau TD-3	Valeur de χ^2	567
Tableau TD-4	Exemple – Sommaire d'une étude de temps de déplacement	569

INTRODUCTION

Cette étude technique explique comment mesurer le temps de déplacement entre deux points d'un itinéraire et les retards en position arrêtée à une intersection. Ces mesures servent à déterminer si les retards encourus par les usagers de la route sont excessifs. En plus de nuire à la fluidité de la circulation, ces retards peuvent avoir un impact négatif sur la sécurité lorsqu'ils engendrent des manœuvres hasardeuses: insertion dans un créneau de circulation trop court, non respect du feu rouge, dépassement hasardeux, etc.

Les retards peuvent être estimés par des observations de terrain ou, de façon plus théorique, par des équations ou des programmes de simulation. Cette étude technique décrit deux méthodes simples d'observations de terrain. Pour un traitement plus exhaustif du sujet, le lecteur est invité à consulter des manuels de circulation routière.

Définitions

Les principaux indices permettant de quantifier l'importance du temps perdu sont le temps (ou la vitesse) de déplacement, le temps (ou la vitesse) en déplacement et les retards:

Temps de déplacement	temps nécessaire à un véhicule pour parcourir un trajet (tronçon de route ou itinéraire).
Vitesse de déplacement	longueur du trajet à l'étude divisée par le temps de déplacement.
Temps en déplacement	temps durant lequel un véhicule est en mouvement durant un trajet (ou en mouvement à une vitesse supérieure à une vitesse minimale).
Vitesse en déplacement	longueur du trajet à l'étude divisée par le temps en déplacement.
Retards	temps perdu par un véhicule en raison de problèmes de circulation. On reconnaît différents types de retards ¹ , dont : <u>retards du temps de déplacement</u> : différence entre le temps de déplacement mesuré lors d'un relevé et le temps normal pour le même déplacement, effectué à la vitesse moyenne du trafic, en période hors congestion. <u>retards en position arrêtée</u> : temps durant lequel le véhicule est immobilisé dans la circulation.

QUAND EFFECTUER UNE ÉTUDE DES RETARDS

Lors d'une analyse de sécurité, une étude des retards peut être justifiée par les motifs suivants :

- les observations de terrain ont mis en évidence des problèmes de retards (**listes de vérification de terrain**);
- les **analyses des accidents** ont mis en évidence des problèmes de sécurité pouvant être reliés aux retards (**tables d'accidents**);
- les usagers ont formulé des plaintes relatives aux retards excessifs ou aux créneaux de manœuvre insuffisants;
- des actions correctives ont récemment été mises en œuvre pour réduire les retards et l'efficacité de ces mesures doit être vérifiée (des relevés avant et après intervention doivent être effectués).

¹ D'autres concepts de retards sont décrits à la section **Retards en intersection**.

Période d'observation

Les observations doivent être effectuées au moment où les délais sont les plus longs, ce qui correspond généralement aux heures de pointe du matin ou de fin de journée de travail.

Dans certains cas particuliers, le problème peut cependant se produire à d'autres moments : fin d'un événement sportif ou culturel important, heure de fermeture d'un centre commercial, etc. L'analyse des accidents pourra parfois révéler des périodes spécifiques de concentrations d'accidents pouvant être attribuables à des retards excessifs, ce qui devrait guider le choix de la période d'observation.

COMMENT EFFECTUER UNE ÉTUDE DES RETARDS

Plusieurs méthodes ont été développées pour mesurer sur le terrain, les retards subis par les usagers de la route. Cette section décrit deux méthodes simples, l'une pour les sections de route, l'autre pour les intersections : Les résultats obtenus varient selon le type de site considéré (tableau TD-1).

Tableau TD-1 Méthodes de mesures des retards décrites dans cette étude

ÉLÉMENT	MÉTHODE	RÉSULTATS
Section	Véhicule test (véhicule flottant ou véhicule moyen)	temps de déplacement temps en déplacement vitesse de déplacement vitesse en déplacement retards (emplacement, durée, cause)
Intersection	Manuelle	retard total retard moyen par véhicule retard moyen par véhicule arrêté pourcentage de véhicules arrêtés

SECTION DE ROUTE - VÉHICULE TEST

Description

Cette méthode permet de mesurer le temps et la vitesse de déplacement, le temps et la vitesse en déplacement et les retards (emplacement, durée, cause). Deux variantes sont décrites, soit celle du *véhicule flottant* et celle du *véhicule moyen*.

Véhicule flottant

On demande au conducteur du véhicule test de « flotter » dans la circulation, c.-à-d. de tenter de dépasser autant de véhicules qu'il y a de véhicules qui le dépassent, pour que son temps de déplacement soit représentatif du temps de parcours moyen des usagers (tout en se conformant aux règles de circulation et en respectant les principes de sécurité de base).

Véhicule moyen

On demande au conducteur du véhicule test d'adopter une vitesse de déplacement qui lui semble représentative de la vitesse moyenne du trafic, sans la contrainte de dépassement précédente.

Équipement

- 1 véhicule
- 2 personnes
- 2 chronomètres
- formulaire ou autres équipements de saisie

Nombre de parcours

Pour atteindre un niveau de fiabilité statistique acceptable, il faut effectuer un nombre minimal de parcours du tronçon à l'étude. Ce nombre dépend de l'écart moyen des vitesses en déplacement (R), tel que mesuré au site et du niveau d'erreur d'estimation de la vitesse qui est jugé acceptable (tableau TD-2).

La valeur de R se calcule en complétant initialement quelques parcours du tronçon, selon la **procédure** décrite ci-dessous (deux à quatre parcours). La différence de vitesse en déplacement entre chaque paire de parcours consécutifs effectués dans une même direction est alors calculée (p. ex. différence entre le premier et le deuxième parcours, entre le deuxième et le troisième parcours, etc.). La valeur de R correspond à la moyenne de ces différences.

Ainsi par exemple, pour un R mesuré de 20 km/h et une erreur tolérée de 5 km/h, un nombre minimal de 6 parcours doit être effectué (niveau de confiance de 95 %). En supposant que trois parcours aient été complétés pour déterminer la valeur de R, trois parcours supplémentaires doivent donc être effectués.

La même démarche doit être appliquée dans les deux directions de déplacement si nécessaire.

Tableau TD-2 Nombre minimal de parcours requis^a

ÉCART MOYEN DES VITESSES EN DÉPLACEMENT R (km/h)	NOMBRE MINIMAL DE PARCOURS SELON UNE ERREUR PERMISE DE (km/h)				
	2	3,5	5	6,5	8
5	4	3	2	2	2
10	8	4	3	3	2
15	14	7	5	3	3
20	21	9	6	5	4
25	28	13	8	6	5
30	38	16	10	7	6

^a niveau de confiance de 95 %

Source : Institute of transportation engineers, 2000

Procédure

Les observateurs doivent au préalable déterminer les limites exactes du tronçon à l'étude et choisir certains points de contrôle répartis sur l'ensemble du trajet. Ces derniers sont généralement des intersections ou accès importants. L'identifiant de chaque point de contrôle est inscrit au **formulaire de saisie** avant d'amorcer le trajet.

Le conducteur du véhicule doit initier son déplacement en amont du début du tronçon à l'étude, de façon à avoir atteint la vitesse moyenne du trafic lorsqu'il atteint le point de départ de l'étude. Il effectue alors le trajet en adoptant la stratégie de conduite sélectionnée (véhicule flottant ou véhicule moyen).

La deuxième personne démarre un chronomètre au point de départ du tronçon. Ce chronomètre est aussi utilisé pour noter le temps de passage à chacun des points de contrôle et le temps en fin de parcours. Elle utilise de plus un deuxième chronomètre pour mesurer les délais à chaque endroit où le véhicule doit s'immobiliser ou circuler à très basse vitesse (5 km/h ou moins). L'emplacement et les causes de ces retards sont notés (l'utilisation de codes préétablis de causes de retard permet d'accélérer cette collecte d'information).

Les données peuvent être recueillies sur des formulaires papiers similaires à celui de la **figure TD-1**. Des formulaires vides sont inclus à l'**annexe TD-1**. Alternativement, différents types d'équipements et logiciels peuvent aussi être utilisés pour faciliter la cueillette et le traitement des informations (ordinateur portable ou équipement spécialisé pour ce type de relevé).

Calculs

Les temps et vitesses de déplacement, temps et vitesses en déplacement et retards sont calculés à partir de la moyenne des résultats obtenus lors des différents trajets :

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{N}$$

où :

- \bar{T} = temps de déplacement (s)
- T_i = temps de déplacement mesuré lors du parcours i (s)
- N = nombre de parcours effectués

$$\bar{Tr} = \frac{\sum Tr_i}{N}$$
$$Tr_i = T_i - Ts_i$$

où :

- \bar{Tr} = temps en déplacement (s)
- Tr_i = temps en déplacement mesuré lors du parcours i (s);
- $Tr_i = T_i - Ts_i$
- avec Ts_i = somme des temps arrêtés lors du déplacement i (s)

$$\bar{V} = \frac{3600 NL}{\sum T_i}$$

où :

- \bar{V} = vitesse de déplacement (km/h)
- L = longueur du tronçon étudié (km)

$$\bar{S} = \frac{3600 NL}{\sum Tr_i}$$

où :

- S = vitesse en déplacement (km/h)

$$\bar{D} = \frac{\sum D_i}{N}$$

où :

- \bar{D} = retard à un point du tronçon (s)
- D_i = retard mesuré à un point du tronçon lors du parcours i (s)

INTERSECTION - MÉTHODE MANUELLE

Description

Cette méthode permet de calculer les retards subis par les usagers à une intersection : retard total, retard moyen par véhicule, retard moyen par véhicule arrêté et pourcentage de véhicules arrêtés.

Une des principales difficultés associées à la réalisation de ce type d'étude consiste à déterminer ce qui constitue un véhicule arrêté. Lorsque les roues d'un véhicule ne tournent pas, la situation est claire. Elle l'est cependant moins pour les véhicules qui sont en train de s'immobiliser et pour lesquels il faut appliquer un traitement uniforme. L'Institute of transportation engineers (2000) recommande de considérer comme étant immobilisés, tous les véhicules circulant à une vitesse inférieure à celle d'une marche lente (environ 5 km/h).

Équipement

De façon typique, une étude des retards à une intersection nécessite deux personnes équipées d'un chronomètre et de formulaires de saisie : une personne recense le nombre de véhicules immobilisés tandis que l'autre compte le nombre de véhicules circulant sur l'approche (**procédure**).

Ici aussi, différents types d'équipements et logiciels peuvent être utilisés pour faciliter la cueillette et le traitement subséquent des informations.

Nombre d'observations

Le nombre minimal d'observations devant être effectuées peut être déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$N = \frac{(1 - p)\chi^2}{pd^2}$$

où :

N = nombre d'observations (véhicules)

p = proportion de véhicules devant s'immobiliser à l'approche de l'intersection (%/100)

χ^2 = valeur du chi-deux au niveau de confiance désiré (tableau TD-3)

d = erreur maximale permise (%/100)

Tableau TD-3 Valeur de χ^2

NIVEAU DE CONFIANCE	VALEUR χ^2
90,0	2,71
95,0	3,84
97,5	5,02
99,0	6,63
99,5	7,88

La valeur de p (proportion de véhicules devant s'immobiliser à l'intersection) peut être estimée en cours de relevé ou provenir d'études antérieures effectuées dans des conditions similaires.

Procédure

Une étude de retard à une intersection s'effectue approche par approche. Les observateurs se postent en bordure de l'intersection, à un endroit où ils peuvent voir sans difficulté l'ensemble des véhicules pouvant être immobilisés à l'approche, mais sans nuire à la circulation.

Un des observateurs compte à intervalles réguliers (10 s, 15 s or 20 s), le nombre de véhicules immobilisés à l'approche. On suppose que chacun de ces véhicules demeure immobilisé pendant la durée complète de l'intervalle. Le retard total de l'approche se calcule donc en multipliant le nombre total de véhicules immobilisés qui ont été recensés durant l'étude par l'intervalle d'échantillonnage sélectionné.

Pour être en mesure de calculer le retard moyen par véhicule - ce qui constitue l'information la plus utile d'une étude de retard - il faut aussi recenser le nombre de véhicules entrant à l'intersection par l'approche à l'études. Cette tâche est effectuée par un deuxième observateur ou à l'aide d'équipements de comptage automatisés (**relevé de circulation**). Peu importe la méthode utilisée, il ne doit pas y avoir, durant la période d'observations, de différence significative entre le nombre de véhicules arrivant à l'approche et le nombre de véhicules qui la quittent, afin que la valeur calculée de retard par véhicule soit représentative de la réalité. La formation ou l'élimination d'une file d'attente en cours d'observations biaise les résultats obtenus (le nombre de véhicules dans la file d'attente doit être équivalent au début et à la fin de la période d'observations).

Il peut aussi s'avérer utile de calculer la proportion de véhicules ayant à arrêter à l'intersection, puisqu'il s'agit d'un indicateur de la fluidité de l'écoulement de la circulation. Pour se faire, il faut recenser le nombre total de véhicules ayant à arrêter à l'intersection) Cette donnée permet le calcul du retard moyen par véhicule arrêté. Un exemple est présenté à la figure TD-2.

Finalement, on peut aussi chercher à estimer les retards associés à certaines manœuvres particulières, comme par exemple un virage problématique, ce qui nécessite le recensement des retards et débits de circulation propres à ces manœuvres.

Le nombre d'observateurs requis doit donc être ajusté en fonction des spécificités de l'étude : mesures de retards et débits requis, configuration géométrique du site et équipements de mesure utilisés.

Un simple chronomètre pouvant être programmé pour émettre un signal sonore à chacun des intervalles sélectionnés facilite la saisie d'information. Ici encore, plusieurs types d'équipements électroniques permettent maintenant de faciliter la saisie et le traitement des données.

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

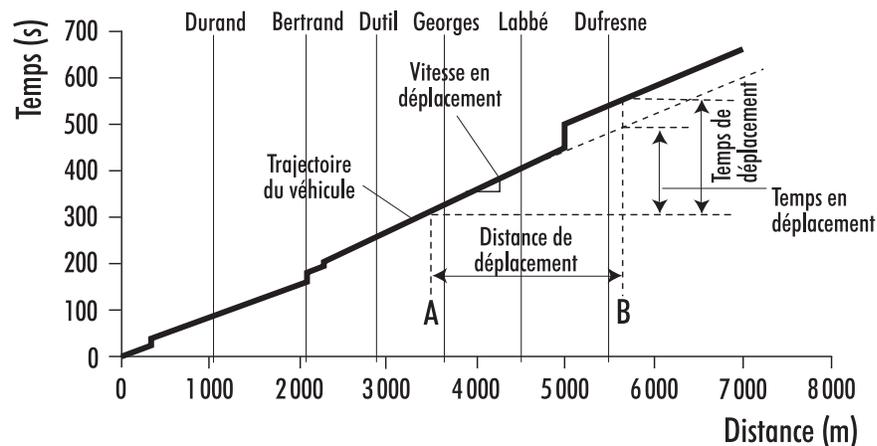
Le type de présentation varie selon l'ampleur et le niveau de détail de l'étude effectuée.

Pour la plupart des études des retards à une intersection, les formulaires complétés de la **figure TD-2** suffisent. Cependant, pour les études de temps de déplacement et de délais sur des tronçons de routes, il est utile de préparer des sommaires tabulaires ou graphiques qui facilitent l'identification de segments ou de points problématiques. Les valeurs d'intérêts sont la vitesse moyenne par segment de route et les retards en position arrêtée. Des exemples de sommaires sont présentés ci-dessous.

Tableau TD-4 Exemple – Sommaire d'une étude de temps de déplacement

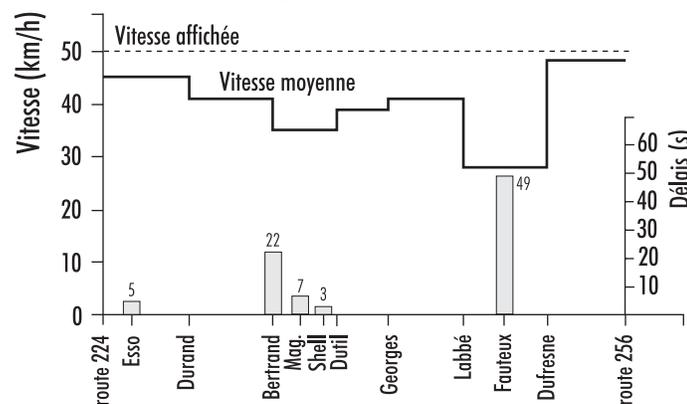
SEGMENT	LONGUEUR (m)	TEMPS (s)	VITESSE AFFICHÉE (km/h)	VITESSE DE DÉPLACEMENT (km/h)	RETARD (s)	VITESSE EN DÉPLACEMENT (km/h)
Route 224-Durand	1 050	84	50	45	5	48
Durand-Bertrand	1 030	91	50	41	22	54
Bertrand-Dutil	840	86	50	35	10	40
Dutil-Georges	670	62	50	39	0	39
Georges-Labbé	880	79	50	40	0	40
Labbé-Dufresne	1 050	135	50	28	49	44
Dufresne-route 256	930	70	50	48	0	48

Figure TD-3 Exemple – Mesures des temps de déplacements



Exemple de détermination graphique du temps de déplacement et du temps en déplacement entre le point A et le point B.

Figure TD-4 Sommaire graphique d'une étude des temps de déplacements et retards



RÉFÉRENCE

Institute of Transportation Engineers (2000) *Manual of transportation engineering studies*, pp. 52-68, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.

ANNEXE TD-1

Formulaires

Section - Étude des temps de déplacements et retards

Municipalité :	Date :
Route :	Heure de : à :
Direction :	Parcours no :
Observateur :	Température :
Point de départ :	Point d'arrivée :
Commentaires :	

POINTS DE CONTRÔLE			ARRÊTS OU RALENTISSEMENTS		
No	ENDROIT	TEMPS	ENDROIT	RETARDS (s)	CAUSE
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Cause du retard

F = feux de circulation A = arrêt VG = virage à gauche MS = manoeuvre de stationnement

P = piéton I = incident AA = arrêt d'autobus C = congestion

Longueur du tronçon : _____ Temps de déplacement : _____

Temps arrêté total : _____ Temps en déplacement : _____

CONFLITS DE CIRCULATION

Étude technique

Carl Bélanger et Patrick Barber

CONFLITS DE CIRCULATION

Étude technique

	Page
INTRODUCTION	580
QUAND EFFECTUER UNE ÉTUDE DE CONFLITS	582
COMMENT EFFECTUER UNE ÉTUDE DE CONFLITS	584
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	587
RÉFÉRENCES	589
ANNEXE CC-1 FORMULAIRES	591

LISTE DES FIGURES

Figure CC-1	Conflits graves et non graves	581
Figure CC-2	Types de conflits de circulation aux intersections	583
Figure CC-3	Exemple – Formulaire d'étude de conflits de circulation	585
Figure CC-4	Exemple – Schéma des conflits de circulation	588

TABLEAU

Tableau CC-1	Taux de conflits journaliers à une intersection majeure avec feux de circulation	587
--------------	--	-----

INTRODUCTION

Dans la plupart des études de sécurité, les analystes utilisent les informations contenues dans les rapports d'accidents pour identifier et comprendre les lacunes de sécurité d'un réseau routier.

Bien que ce type d'analyse soit essentiel, il faut cependant reconnaître que l'information pouvant être extraite des données d'accidents est limitée et qu'il importe en conséquence de la compléter par des observations de terrain. Ceci a été discuté en détail dans le chapitre 5 (*identification*) et le chapitre 6 (*diagnostic*).

Au fil des ans, de nombreux outils ont été proposés pour aider les analystes à effectuer ces observations de terrain et un certain nombre de techniques formelles d'observations ont été développées (p. ex. les techniques de conflits routiers, les techniques de guidage positif (Positive guidance) et plus récemment les audits de sécurité routière).

Dans une étude de conflits de circulation, un observateur ayant reçu une formation adéquate, observe les conditions de circulation à un site donné et y note les types de conflits qui y surviennent. Ces études sont le plus souvent réalisées aux intersections urbaines, là où les conflits de circulation sont les plus nombreux. Les études de conflits aident à déterminer les manœuvres avec lesquelles les usagers de la route ont le plus de difficulté et à déterminer les interventions les plus susceptibles de résoudre les problèmes observés (ces dernières peuvent être du domaine du génie routier mais elles peuvent aussi être reliées aux autres composantes du *système de sécurité*).

Il faut cependant noter que l'introduction des techniques de conflits de circulation a initié un long débat scientifique relativement à la validité de ces événements comme estimateurs des accidents. La question n'a pas encore été répondue de façon définitive, bien que certaines études aient apporté un éclairage fort utile sur le sujet (*les conflits de circulation sont-ils de bons estimateurs des accidents?*).

Définition

La technique de conflits de circulation (TCC) a été développée à l'origine par des chercheurs du General Motors Laboratories, qui voulaient vérifier si les véhicules de cette compagnie étaient conduits différemment des autres types de véhicules (Perkins et Harris, 1968). Plusieurs variantes de TCCs ont par la suite été proposées mais la très grande majorité d'entre elles reconnaissent un conflit à partir de la nécessité, pour au moins un des conducteurs, d'effectuer une manœuvre d'évitement (freinage, braquage, accélération ou combinaison de ces actions). Différents critères ont été définis pour caractériser les conflits; il peut s'agir du temps avant la collision (TAC), du taux de décélération, du temps d'empiètement, du temps après empiètement, etc. (Gettman et Head, 2003). Ces critères peuvent servir à déterminer de façon objective le niveau de *gravité des conflits*.

Une définition bien acceptée d'un conflit de circulation est :

«Une situation observable, au cours de laquelle au moins deux usagers de la route approchent l'un de l'autre dans le temps et dans l'espace, jusqu'à un point tel qu'il y a risque d'accident si leurs mouvements demeurent inchangés.»

Amundson et Hyden, 1977

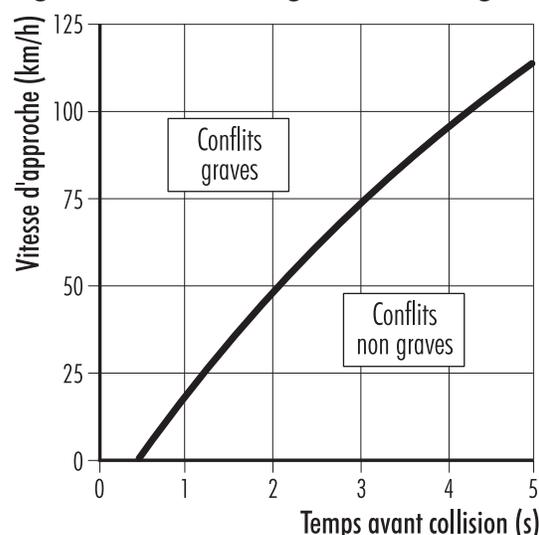
Gravité des conflits

La plupart des techniques de conflits de circulation (TCC) séparent les conflits en fonction de leur gravité (p. ex. léger ou grave).

Dans certains cas, la détermination du niveau de gravité s'appuie sur des critères subjectifs. Par exemple, un manuel américain, développé par Parker et Zegeer (1989), identifie un conflit sérieux à partir d'observations telles un affaissement du devant du véhicule lors du freinage, le crissement des pneus, etc.

Dans d'autres cas, la gravité des conflits est déterminée à partir de critères plus objectifs et moins sujets à l'interprétation de l'observateur, mais pouvant être plus difficiles à mesurer. Par exemple, la technique suédoise combine le temps avant collision (TAC)¹ et la vitesse d'approche pour distinguer les conflits graves et non graves (figure CC-1).

Figure CC-1 Conflits graves et non graves



Source: (<http://www.tft.lth.se/rapporter/Conflict1.pdf>)

Les conflits de circulation sont-ils de bons estimateurs des accidents ?

Il s'agit d'une question qui fait l'objet de discussions depuis l'introduction des techniques de conflits routiers. Si tous s'entendent pour dire qu'un taux de conflits élevé est symptomatique d'un niveau de sécurité faible, il est cependant beaucoup plus difficile de déterminer sans ambiguïté et controverse si les conflits peuvent être utilisés pour estimer la fréquence d'accidents (ou plus précisément, le niveau de sécurité).

Une chose est sûre: on ne peut s'attendre à une très bonne estimation en comparant directement les résultats d'études de conflits et les nombres totaux d'accidents, puisqu'il s'agit de types d'événements et de périodes d'observation qui diffèrent de façon significative. Pour réconcilier ces deux ensembles (accidents et conflits), il faut exclure du groupe d'accidents, ceux qui ne sont pas pertinents aux événements observés durant l'étude des conflits. Il s'agit généralement :

- des accidents impliquant un seul véhicule (tout en se rappelant qu'une faible proportion de ces accidents peut résulter de conflits entre deux véhicules);
- des autres types d'accidents qui n'ont pas été observés durant l'étude de conflits;
- des accidents survenus durant des périodes où les conflits n'ont pas été observés (les études de conflits sont le plus souvent effectuées de jour, la semaine et par temps sec).

Dans une recherche importante visant à vérifier la corrélation entre accidents et conflits, Migletz, Glauz et Bauer (1985) ont ainsi dû, pour harmoniser les données d'accidents et de conflits, réduire le nombre total d'accidents survenus aux intersections considérées de 1 292 à 319. Leurs conclusions sur cette question demeurent encore aujourd'hui très pertinentes :

«Certains types de conflits constituent un bon substitut aux accidents, puisqu'ils permettent d'obtenir des estimés des taux moyens d'accidents qui sont soit presque aussi précis, soit aussi précis, que ceux pouvant être obtenus à l'aide de l'historique d'accidents. En conséquence, les études de conflits devraient être très utiles lorsque les données d'accidents disponibles sont insuffisantes.»

Migletz, Glauz et Bauer, 1985

¹ TAC : le temps avant que deux usagers de la route n'entrent en collision s'ils continuent à la même vitesse et en suivant la même trajectoire. On l'estime à partir des vitesses et distances séparant deux usagers de la route au moment où est initiée la manœuvre d'évitement.

Types de conflits de circulation

- Tout comme pour les analyses d'accidents, il est fort utile de subdiviser les conflits de circulation en catégories distinctes, selon leur type. Il est de cette façon possible de préparer des tables sommaires, des graphiques et des diagrammes qui facilitent l'interprétation des résultats (comparaisons avec des sites similaires et détection de types de conflits anormaux).
- Glauz et Migletz (1980) distinguent 12 types de conflits entre 2 véhicules et 4 types de conflits secondaires² impliquant 3 usagers de la route (figures CC-2). Certains de ces conflits ont cependant un taux d'occurrence très faible, ce qui en réduit l'intérêt (**tableau CC-1**).
- Le nombre de types de conflits augmente rapidement si l'on ajoute à cette liste tous ceux pouvant survenir entre usagers motorisés et non motorisés (piétons, cyclistes et autres).
- Les types de conflits pouvant être observés à un site varient selon les règles de circulation qui y prévalent et les caractéristiques géométriques en place : la liste des conflits à observer doit être établie avant d'amorcer l'étude de conflits.
- Il n'est pas nécessaire d'observer tous les types de conflits possibles dans toutes les études. S'il s'agit, par exemple, de comparer l'efficacité d'un traitement visant à améliorer la sécurité d'une manœuvre de virage, on pourra très bien se limiter à l'observation des conflits associés.

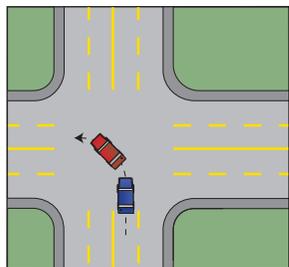
QUAND EFFECTUER UNE ÉTUDE DE CONFLITS

Une étude de conflits peut être effectuée pour :

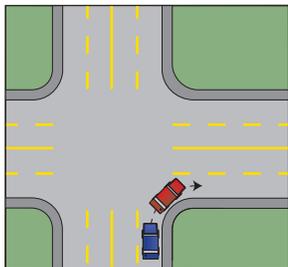
- progresser dans l'établissement du diagnostic de sécurité. Les études de conflits sont particulièrement utiles lorsque les limites des données d'accidents sont importantes (données inexistantes, manquantes, insuffisantes ou de mauvaise qualité).
- évaluer l'effet d'une intervention de sécurité. Le principal avantage des techniques de conflits par rapport aux accidents est qu'il n'est pas nécessaire d'attendre plusieurs années avant d'obtenir un nombre suffisant de données qui permette une telle évaluation. Une étude de conflits peut être effectuée rapidement après la fin des travaux, ce qui permettra de procéder immédiatement aux correctifs nécessaires si les résultats attendus n'ont pas été atteints (ou si des effets pervers imprévus ont été créés). Ce type d'évaluation requiert l'observation des conflits avant et après l'intervention.
- évaluer la performance de sécurité de différents aménagements routiers ou modes de régulation de la circulation (p. ex. comparer la performance d'intersections à feux avec et sans phase de virage à gauche protégée).

² La notion de *conflit secondaire* est utilisée pour décrire les situations où une manœuvre d'évitement d'un second conducteur entraîne un risque de collision pour un troisième usager. Quelques exemples sont illustrés à la figure CC-2.

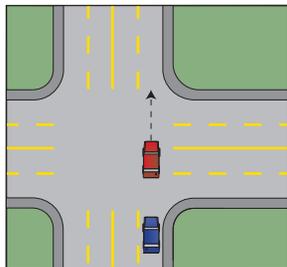
Figure CC-2 Types de conflits de circulation aux intersections¹



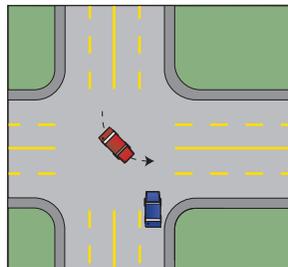
Virage à gauche, même sens



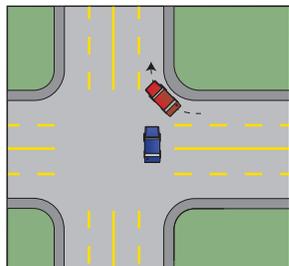
Virage à droite, même sens



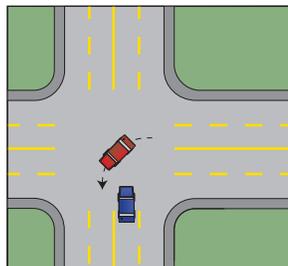
Véhicule lent, même sens



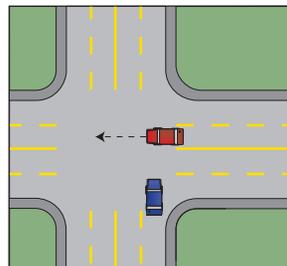
Virage à gauche opposé



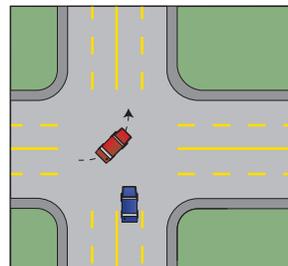
Virage à droite, circulation transversale de droite



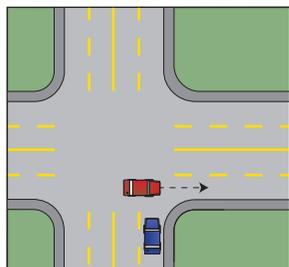
Virage à gauche, circulation transversale de droite



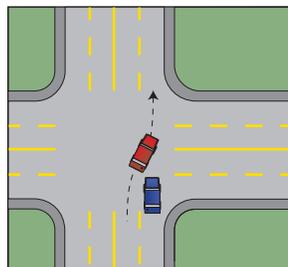
Tout droit, circulation transversale de droite



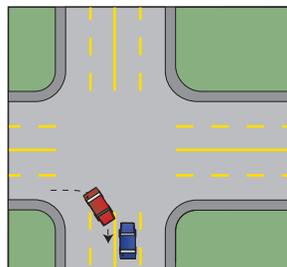
Virage à gauche, circulation transversale de gauche



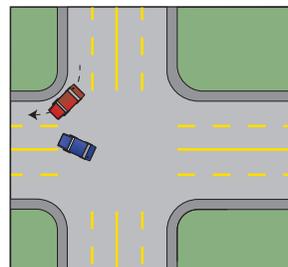
Tout droit, circulation transversale de gauche



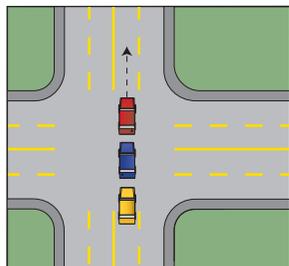
Conflit de changement de voie



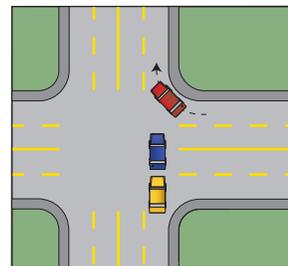
Virage à droite, circulation transversale de gauche



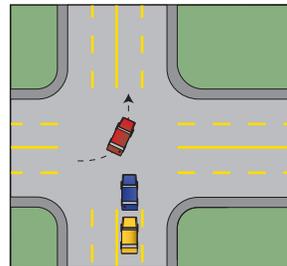
Virages opposés



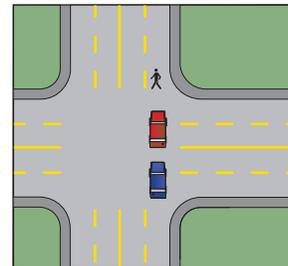
Conflit secondaire, véhicule lent, même sens



Conflit secondaire, virage à droite, circulation transversale de droite



Conflit secondaire, virage à gauche, circulation transversale de gauche



Conflit secondaire, piéton, côté opposé

¹ conduite à droite

Source: Glauz et Migletz, 1980

COMMENT EFFECTUER UNE ÉTUDE DE CONFLITS

Les éléments suivants doivent être pris en compte dans la planification d'une étude de conflits de circulation :

- *formation du personnel*
- *techniques d'observations*
- *période d'observation*
- *détails des observations*

Formation du personnel

La validité et l'utilité des résultats d'études de conflits sont largement tributaires du degré de cohérence des observateurs. Deux exigences de base doivent être satisfaites :

- le même observateur doit être cohérent dans l'enregistrement des conflits;
- les résultats de plusieurs observateurs doivent être cohérents.

Des procédures et manuels de formation ont été développés dans plusieurs pays, dont notamment en Angleterre, en Suède, aux Etats-Unis, en Allemagne et en France (Muhlrad, 1993).

La période de formation varie généralement d'une à deux semaines et devrait idéalement être fonction du temps requis pour satisfaire les exigences de cohérence. Des observations effectuées simultanément au même endroit par des observateurs débutants et expérimentés ou la comparaison d'enregistrements vidéo et de relevés manuels peuvent servir à cette fin. Le degré d'uniformité obtenu doit être très élevé (Hyden, 1989 ; Parker et Zegeer, 1989).

Techniques d'observations

Personnel

Le nombre d'observateurs (ou la durée de l'étude si les observations s'effectuent de façon séquentielle) dépend du nombre de conflits distincts à observer, du taux d'occurrence moyen de chacun de ces types de conflits, des débits de circulation, du nombre d'approches de l'intersection et de la nécessité ou non d'effectuer un relevé de circulation en simultanément³.

Les taux moyens de conflits varient de façon importante selon la TCC utilisée. Par exemple, une moyenne de 3 conflits/heure à une intersection est considérée élevée avec la technique de TCC suédoise (Almquist et Hyden, 1994). Tandis que des moyennes pouvant atteindre 90 conflits/heure ont été observées par Migletz et al. (1985) avec la méthode de TCC américaine.

Lorsque tous les principaux types de conflits doivent être recensés à une intersection importante, une personne ne pourra généralement observer qu'une seule approche d'intersection à la fois.

Matériel

Le matériel nécessaire à la réalisation d'une étude de conflits est relativement simple:

- formulaires de conflits (exemple en figure CC-3, formulaire vide à l'*annexe CC-1*);
- montre et chronomètre.

facultatif:

- compteurs mécaniques ou électroniques (pour faciliter le recueil de données);
- caméra vidéo et support d'enregistrement en quantité suffisante (l'enregistrement vidéo des conditions de circulation au moment où sont observés les conflits est souhaitable car il permet d'effectuer une validation ultérieure de certains conflits douteux et de compléter certaines observations manquantes).

³ Un relevé de circulation est requis lorsque l'objectif est de déterminer des taux de conflits/véhicule ou encore d'évaluer l'effet d'une intervention qui a pu modifier les conditions de circulation (un relevé doit être effectué avant et après intervention).

Figure CC-3 Exemple – Formulaire d'étude de conflits de circulation

Formulaire d'étude de conflits de circulation

Municipalité : <i>Saint-Gilles</i>	Date : <i>16/03/2000</i>
Intersection : <i>Route 365/route 358</i>	Heure de : <i>08:00</i> à : <i>18:00</i>
Observateur : <i>Benoit Taillefer</i>	Temps (météo) : <i>Ensoleillé</i>
Commentaires :	

Autres

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Heure : *8:03*

Action :
 Freinage
 Évitement
 Accélération

Gravité :
 Non-grave
 Grave

	1	2	3
	x	x	

Heure : *8:12*

Action :
 Freinage
 Évitement
 Accélération

Gravité :
 Non-grave
 Grave

	1	2	3
	x	x	

Heure : *8:22*

Action :
 Freinage
 Évitement
 Accélération

Gravité :
 Non-grave
 Grave

	1	2	3
	x		
		x	

Heure : *8:25*

Action :
 Freinage
 Évitement
 Accélération

Gravité :
 Non-grave
 Grave

	1	2	3
	x	x	

Heure : *8:28*

Action :
 Freinage
 Évitement
 Accélération

Gravité :
 Non-grave
 Grave

	1	2	3
	x	x	

Heure : *8:34*

Action :
 Freinage
 Évitement
 Accélération

Gravité :
 Non-grave
 Grave

	1	2	3
	x	x	

Emplacement de l'observateur

- Les observateurs doivent se positionner en amont du site à l'étude, afin de bien voir les feux de freinage des véhicules. Leur position exact est fonction de l'espace disponible, des obstacles pouvant nuire à la visibilité, du type de conflit à observer et de la vitesse de la circulation ; des distances variant entre 30 m et 100 m en zone urbaine sont généralement adéquates (100 m ou plus en milieu rural).
- Pour ne pas influencer le comportement des conducteurs, les observateurs doivent rechercher des emplacements d'où ils ne sont pas trop visibles de ceux-ci, en garantissant par exemple leur véhicule dans un espace de stationnement public ou en s'asseyant derrière un arbre, un poteau, etc. Si les conditions environnantes le permettent, les observations devraient être effectuées à partir d'une position surélevée (p. ex. le toit d'un édifice), ce qui permet d'éviter certaines obstructions visuelles (groupe de piétons, véhicules stationnés, etc.).
- Si la période d'observations s'étend sur plusieurs jours, les observateurs doivent tenter de se positionner au même endroit durant toute la durée de l'étude.
- Si les mêmes types de conflits doivent être observés à différentes intersections, ils doivent tenter d'utiliser des emplacements équivalents à chaque site.

Période d'observation

- Une étude de conflits de circulation s'effectue normalement de jour et par beau temps.
- L'étude ne doit pas s'effectuer lorsque les conditions sont inhabituelles, par exemple lors de travaux routiers ou d'événements spéciaux affectant la circulation normale, à moins que l'objectif visé soit précisément de mieux comprendre les problèmes rencontrés à ces moments.
- Si l'analyse des accidents révèle des concentrations à certaines périodes précises (heures de pointe, fins de semaine, été, etc.), il faut planifier les observations aux moments où les problèmes sont le plus susceptibles d'être observés.
- La période d'observation pourra varier de quelques heures à plusieurs jours, selon le temps requis pour recueillir un nombre suffisant de données de conflits (fréquemment entre deux et cinq jours). Certaines méthodes statistiques ont été proposées pour déterminer la durée d'étude nécessaire à l'atteinte d'un niveau de fiabilité statistique désiré (p. ex. ITE, 2000).
- Afin de permettre aux observateurs de maintenir le niveau de concentration nécessaire, les séquences de périodes d'observations doivent être entrecoupées de pauses. Parker et Zegeer (1988) recommandent des périodes d'observations de 20 ou 25 minutes, suivies de pauses de 10 ou 5 minutes, ce qui résulte en périodes de 30 minutes, qui sont faciles à gérer. D'autres préfèrent des périodes d'observations et des pauses de plus longue durée (p. ex. Almquist et Hyden, 1994 ; Sayed et Zein, 1999).

Détail des observations

Avant d'amorcer l'analyse, l'observateur doit s'assurer de compléter sur le formulaire de saisie, toutes les informations qui lui permettront ultérieurement de reconnaître sans ambiguïté, le lieu et les conditions du site : municipalité, intersection, approche, date, heures d'observations, conditions climatiques, autres commentaires.

Différents types de formulaires ont été développés pour effectuer la saisie des données de conflits. Par exemple, le formulaire de la technique suédoise utilise une page distincte pour chacun des conflits observés et enregistre donc des informations détaillées sur chacun de ces événements. En comparaison, le formulaire de la technique américaine permet d'enregistrer plusieurs conflits sur une même page mais recueille des informations plus restreintes. Un modèle de formulaire est suggéré à la figure CC-3 et en *annexe CC-1*.

Pour chaque type de conflit, ce formulaire permet de recueillir les informations suivantes :

- heure;
- manœuvres (et leur emplacement);
- types et nombres de véhicules impliqués;
- mesure de sévérité du conflit;
- conflit primaire ou secondaire;
- commentaires (au besoin).

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Après avoir complété les observations, il faut colliger les données et préparer des sommaires : tableaux ou schémas de conflits de circulation (tableau CC-1 et figure CC-4).

Les tableaux sommaires facilitent les comparaisons des taux de conflits observés au site avec les taux moyens observés à des sites ayant des caractéristiques similaires, ce qui permet la détection de types de conflits anormalement élevés. La logique de ces comparaisons est similaire à celle décrite à la section *Analyse des patrons d'accidents* du chapitre 5.

De même, les schémas de conflits d'accidents sont très semblables aux *schémas d'accidents* qui ont été décrits au chapitre 6 : ils facilitent l'identification de types de conflits qui se concentrent dans certaines directions et zones d'une intersection.

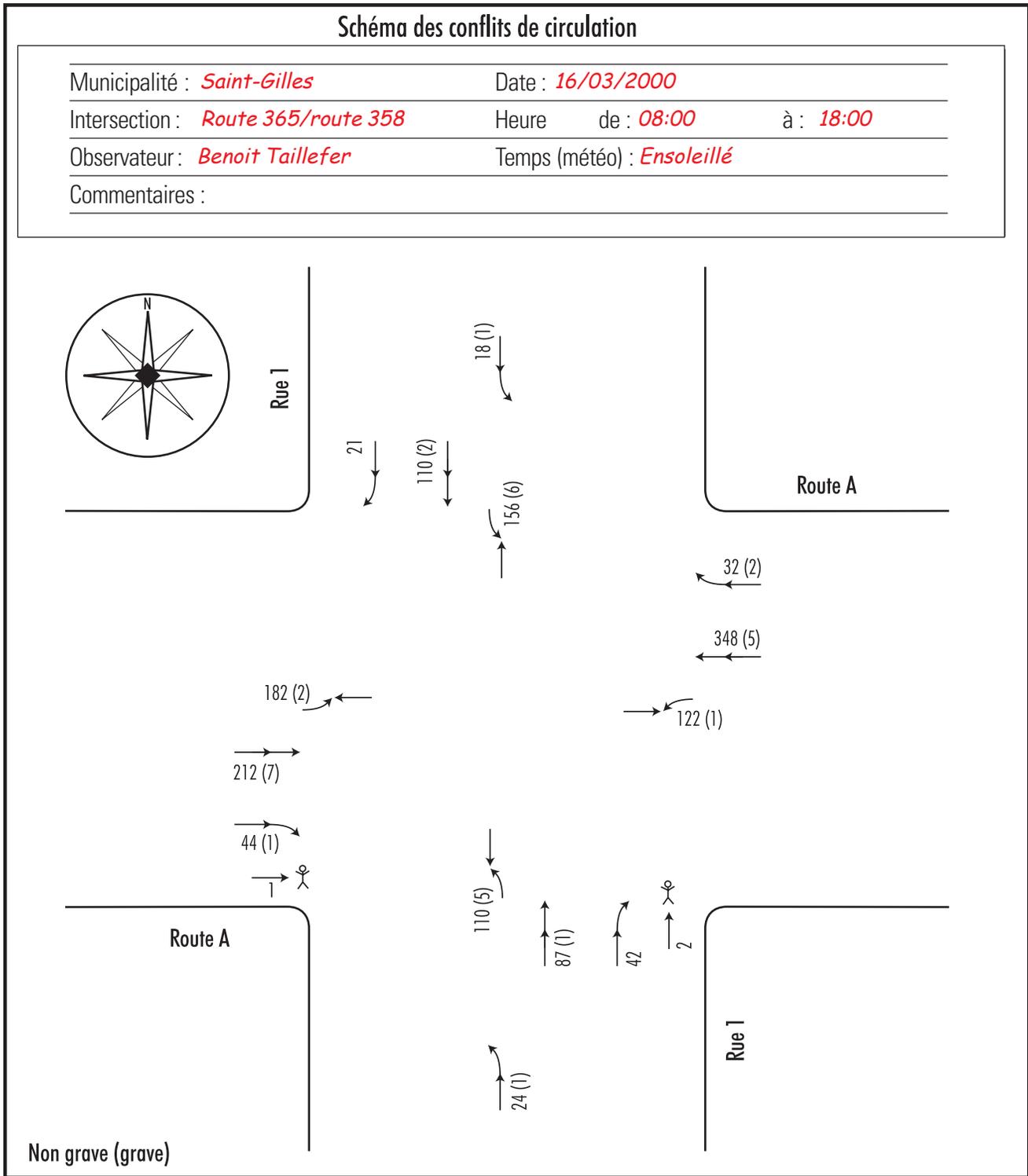
Tableau CC-1 Taux de conflits journaliers à une intersection majeure avec feux

CONFLIT		CENTILE ¹			
NO.	TYPE	MOYENNE	VARIANCE	90 ^e	95 ^e
1	Virage à gauche, même direction	83,6	11 613,7	265,0	360,0
2	Véhicule lent	669,1	23 994,7	870,0	940,0
3	Changement de voie	18,2	160,6	35,0	43,0
4	Virage à droite, même direction	218,6	7 587,5	470,0	510,0
5	Virage à gauche opposé	22,0	377,7	48,0	60,0
6	Virage à gauche de la gauche	0,6	0,8	1,7	2,5
7	Croisement de la gauche	0,1	0,1	–	–
8	Virage à droite de la gauche	0,1	0,0	–	–
9	Virage à gauche de la droite	0,4	0,3	1,1	1,4
10	Croisement de la droite	0,3	0,2	–	–
11	Virage à droite de la droite	2,6	2,3	4,6	5,4
12	Virage à droite sur feu rouge opposé	0,2	0,1	–	–
1-4	Même direction	989,5	67 198,4	1 340,0	1 460,0
7+10	Croisement tout droit	0,4	0,3	1,1	1,5

¹ Pour les types de conflits les moins fréquents, aucune valeur n'est indiquée; tous les conflits observés devront être considérés avec méfiance. Pour les autres types de conflits, les valeurs indiquées constituent des limites, à 2 niveaux de confiance, pour les taux de conflits normalement attendus.

Source: Glauz et al., 1985

Figure CC-4 Exemple – Schéma des conflits de circulation



RÉFÉRENCES

- Almquist, S. et Ekman, L. (1999)** *The Swedish traffic conflict technique – Observers manual*, Lund University, Department of Technology and Society, Traffic Engineering
- Amundson, F. et Hyden, C., Proceedings (1977)** *First workshop on traffic conflicts*, Institute of Transport Economics, Oslo, Norway.
- Almquist, S. et Hyden, C. (1994)** *Methods for assessing traffic safety in developing countries*, Building Issues, V6, N1 (<http://www.hdm.lth.se/bi/report/94no1/W%201-94.pdf>).
- Gettman, D. et Head, L. (2003)** *Surrogate safety measures from traffic simulation models*, Final report, FHWA-RD-03-050 (<http://www.tfhrc.gov/safety/pubs/03050/03050.pdf>).
- Glauz, W.D., Bauer, K.M. et Migletz, J. (1985)** *Expected traffic conflict rates and their use in predicting accidents*, dans *Transportation Research Record 1026*, pp. 1-12, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Glauz, W. et Migletz, D. (1980)** *Application of traffic conflict analysis at intersections*, NCHRP Report 219, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Institute of Transportation Engineers (2000)** *Traffic conflict studies*, dans *Manual of transportation engineering studies*, pp. 219-235 Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.
- Hyden, C. (1989)** *The development of a method for traffic safety evaluation: the Swedish traffic conflicts technique*, Bulletin 70, Lund Institute of technology.
- Muhlrad, N. (1993)** *Traffic conflict techniques and other forms of behavioural analysis : Application to safety diagnoses*, Proceedings 6th ICTCT Workshop, Salzburg (<http://www.ictct.org/workshops/93-Salzburg/Muhlrad.pdf>).
- Migletz, D.J., Glauz, W.D. et Bauer, K.M. (1985)** *Relationships between traffic conflicts and accidents, Volume 2 – Final technical report*, FHWA-RD-84-042, Washington, DC.
- Parker, M.R. et Zegeer, C.V. (1988)** *Traffic conflict techniques for safety and operations – Engineer’s guide*, FHWA-IP-88-026, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Parker, M.R. et Zegeer, C.V. (1989)** *Traffic conflict techniques for safety and operations – Observers Manual*, FHWA-IP-88-027, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Perkins, S.R. et Harris, J.I. (1968)** *Traffic conflict characteristics – Accident potential at intersections*, dans *Highway Research Record 225*, pp. 35-43, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Sayed, T. et Zein, S. (1999)** *Traffic conflict standards for intersections*, dans *Transportation Planning and Technology*, V22, N4, pp. 309-323.

ANNEXE CC-1

Formulaires

Formulaire - Étude de conflits de circulation

Municipalité : _____	Date : _____
Intersection : _____	Heure de : _____ à : _____
Observateur : _____	Temps (météo) : _____
Commentaires : _____	

Autres

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Heure : _____		Action : Freinage <input type="checkbox"/> Évitement <input type="checkbox"/> Accélération <input type="checkbox"/>																
=====		=====																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="width: 15%;"></td><td style="width: 15%;">1</td><td style="width: 15%;">2</td><td style="width: 15%;">3</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		1	2	3														Gravité : Non-grave <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/>
	1	2	3															

Heure : _____		Action : Freinage <input type="checkbox"/> Évitement <input type="checkbox"/> Accélération <input type="checkbox"/>																
=====		=====																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="width: 15%;"></td><td style="width: 15%;">1</td><td style="width: 15%;">2</td><td style="width: 15%;">3</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		1	2	3														Gravité : Non-grave <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/>
	1	2	3															

Heure : _____		Action : Freinage <input type="checkbox"/> Évitement <input type="checkbox"/> Accélération <input type="checkbox"/>																
=====		=====																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="width: 15%;"></td><td style="width: 15%;">1</td><td style="width: 15%;">2</td><td style="width: 15%;">3</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		1	2	3														Gravité : Non-grave <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/>
	1	2	3															

Heure : _____		Action : Freinage <input type="checkbox"/> Évitement <input type="checkbox"/> Accélération <input type="checkbox"/>																
=====		=====																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="width: 15%;"></td><td style="width: 15%;">1</td><td style="width: 15%;">2</td><td style="width: 15%;">3</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		1	2	3														Gravité : Non-grave <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/>
	1	2	3															

Heure : _____		Action : Freinage <input type="checkbox"/> Évitement <input type="checkbox"/> Accélération <input type="checkbox"/>																
=====		=====																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="width: 15%;"></td><td style="width: 15%;">1</td><td style="width: 15%;">2</td><td style="width: 15%;">3</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		1	2	3														Gravité : Non-grave <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/>
	1	2	3															

Heure : _____		Action : Freinage <input type="checkbox"/> Évitement <input type="checkbox"/> Accélération <input type="checkbox"/>																
=====		=====																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="width: 15%;"></td><td style="width: 15%;">1</td><td style="width: 15%;">2</td><td style="width: 15%;">3</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		1	2	3														Gravité : Non-grave <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/>
	1	2	3															

Schéma des conflits de circulation

Municipalité :

Date :

Intersection :

Heure

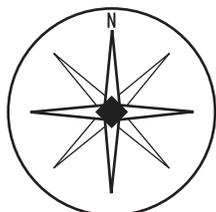
de :

à :

Observateur :

Temps (météo) :

Commentaires :



Non grave (grave)

Index

A

Abords de route **339, 340, 463**
Accotements **338, 483**
Accumulation d'eau **536**
Activités de recherche **32**
Adaptation comportementale **299**
Administrations routières **28**
Aires de vérification des freins **363**
Aménagement de l'îlot **481**
Ampleur du problème **3**
Analyse des accidents **48, 159**
Analyse séquentielle des accidents **50**
Analyses graphiques avant-après **299**
Anneau du giratoire **484**
Appareil photo numérique **74**
Approche IEC **34**
Arbre de défaillances **161**
Attentes des conducteurs **188, 436**
Audits de sécurité routière **60, 128**
Autorités policières **28**

B

Besoins des personnes âgées **430**
Biais de sélection **144**
Biseaux de transition **478**
Blessés **9**
Borne kilométrique **79**

C

Carrefours giratoires **391, 394, 551**
Carte à puce **74**
Carte de points de référence **79**
Catégorisation du site **158**
Choix de la vitesse **432**
Choix d'intersection **448**
Choix d'intersection selon la capacité **451**
Choix d'intersection selon l'environnement routier **450**
Choix d'intersection selon le coût **451**
Choix d'intersection selon le type de route **449**
Choix du type d'intersection **448**
Cibles **104**
Classification fonctionnelle **181**
Classification routière **181**
Code à barres **74**
Cohérence **56, 183**
Combinaisons de caractéristiques **344, 360, 367, 368**
Comment détecter les sites dangereux **58**
Comment élargir les perspectives de sécurité **133**
Comparaison de solutions viables **464**
Compétences techniques et recherche **32**

Comprendre l'accident **159**
Conflits de circulation **295**
Conseil national de sécurité routière **26**
Contamination de la surface de roulement **537**
Contraintes dynamiques **55**
Contraste - Éclairement **429**
Contrôle des accès **463**
Coordonnées X,Y **80**
Courbe en spirale **328**
Courbe verticale rentrante **382**
Courbe verticale saillante **382**
Courbes - Dynamique **348**
Courbes - Géométrie **349**
Courbes de décélération **380**
Courbes horizontales **320**
Courbes verticales **368**
Coût initial (ingénierie et capital) **270**
Coûts d'entretien et d'exploitation annuels **270**
Coûts des accidents **10**
Critères d'évaluation économique **273**
Critères d'identification combinés **117**
Cueillette d'information **132**

D

Débit journalier moyen annuel (DJMA) **511**
Dégagement latéral **339**
Délimitation **475**
Délimitation par bordures **475**
Délimitation par marquage **475**
Densité de la lumière et contraste **430**
Dépassement **342, 369**
Dérapage **333**
Détaillée (niveau d'analyse) **160**
Deux-roues (carrefours giratoires) **462**
Dévers **336, 484**
Différentiels de vitesses **330**
Disposition des branches d'une intersection **467**
Distance d'arrêt **361**
Distance de visibilité **386, 463**
Distance de visibilité d'anticipation **395**
Distance de visibilité d'arrêt **391**
Distance de visibilité de dépassement **396**
Distance de visibilité de manœuvre **392**
Distance de visibilité de rencontre **397**
Distance focale, vision périphérique **432**
Distances de visibilité disponibles **388**
Distances de visibilité requises **389**
Distribution des fréquences - Vitesse **505**
Distribution des fréquences cumulées - Vitesse **505**
Données autres **87**
Données de l'hôpital **87**
Données de liaison de fichiers **89**
Données sur la circulation **87**
Données sur les accidents **70**
Données sur l'infrastructure routière **86**

Drainage **362, 370**

Durée de vie **270**

E

Échauffement des freins (véhicules lourds) **361**

Effet du resurfaçage **405**

Éléments clés du système de transport routier **424**

Éléments clés d'un système d'information **89**

Enregistreur d'accidents **91**

Équation de réduction des traumatismes **34**

Équipements d'enregistrement lors d'accidents **91**

Erreur - Défaillance de raisonnement **53**

Erreur - Défaillance touchant une tâche **52**

Erreur - Distorsion de la réalité **53**

Erreur - Dépassement de la capacité cognitive **52**

Espacement des intersections **459**

Essais de frottement **538**

Estimation des décès **7**

Estimation des effets secondaires éventuels **270**

Estimation des modifications d'accidents **270**

État de la surface de roulement **331**

Étude de capacité **174**

Études techniques additionnelles **174**

Évaluation des impacts prévus **132**

Évaluation économique **273**

Évaluation statistique **301**

Évaluations par études comportementales **293**

Évaluations par observations **292**

F

Facteur de pointe instantanée (FPI) **511**

Facteurs contribuant aux accidents **46**

Facteurs d'ajustement du frottement **539**

Facteurs humains **422**

Familiarisation avec le site **171**

Fichier de données **86**

Financement des initiatives de sécurité routière **31**

Fréquence d'accidents **59**

Fréquence d'accidents - Principales lacunes **110**

Frottement **404**

Frottement - Température **540**

Frottement - Vitesse **539**

Frottement et conception routière **408**

Frottement longitudinal **407**

Frottement sur routes existantes **409**

Frottement transversal **408**

G

Gestion de la sécurité routière **27**

Gravité des conflits de circulation **581**

Groupe de sites ayant reçu un même traitement **314**

H

Hauteur des yeux et hauteur de l'objet observé **549**

Historique du site **157**

I

- Identification **99**
- Identification - Perspective élargie **131**
- Identification fondée sur les accidents **108**
- Identification proactive **127**
- Illusions d'optique **427**
- Îlot central **481**
- Îlots directionnels **476**
- Îlots en forme de goutte **471**
- Îlots séparateurs **476**
- Inconvénients de l'informatisation de la collecte **75**
- Indicateurs de performance **133**
- Indicateurs de sécurité **59**
- Indice de gravité relative **115**
- Indice équivalent de dommages matériels seulement **114**
- Indices sonores et visuels **430**
- Information critique et souhaitable **75**
- Intensité horaire de la circulation **511**
- Intermédiaire (niveau d'analyse) **160**
- Intersection - Configuration **469, 473, 480**
- Intersection - Îlots **474**
- Intersections à 3 branches **465**
- Intersections à 4 branches **466**
- Intersections à feux - Généralités **466**
- Intersections à plus de quatre branches **467**
- Intersections à quatre branches **473**
- Intersections à trois branches **469, 472**
- Intersections - Mouvement tout droit **469**
- Intersections - Virage à droite **470**
- Intersections - Virage à gauche **471**
- Intersections - Voies de changement de vitesse **477**
- Intersections sur des routes de contournement **450**
- Intervalle de confiance **143**
- Intervalle de vitesse **504**
- Inventaire photographique et vidéo **86**

L

- La juste mesure (rapport d'accident) **85**
- Largeur de la route **337**
- Largeur des voies **483**
- Liens **106**
- Limitation de la gravité des impacts **56**
- Limites des données d'accidents **82**
- Lisibilité de la route **55**
- Listes de vérification **175, 211**
- Lits d'arrêt **364**
- Localisation des accidents **77**
- Loi de Yerkes-Dodson **426**
- Longueur des voies centrales de virage à gauche **474**
- Luminosité **430**

M

- Macro-analyse **160**
- Macrotecture **535**
- Matrice de Haddon **35, 47**

Médiane **504**
Mesure photogrammétique **92**
Mesures objective et subjective de sécurité **58**
Méthode dynamique multi-causale **48**
Méthodes de localisation des accidents **77**
Méthodes EB - Moments **120**
Méthodes EB - Régression **120**
Méthodes empiriques bayésiennes (EB) **119**
Micro-analyse **160**
Microtexture **535**
Migration des accidents **298**
Mini-carrefours giratoires **486**
Mise en portefeuille **334**
Mise en œuvre et évaluation après réalisation **132**
Modèles de prédiction d'accidents **118**
Modem radiofréquence **74**

N

Nature aléatoire des accidents **142**
Niveaux d'analyse des accidents **160**
Niveaux d'intervention en sécurité routière **31**
Noeud - lien **78**

O

Objectif principal de réduction des accidents **36**
Observations au site **167**
Observations détaillées **172**
Ordinateur à stylet **73**
Ordinateur de poche **73**
Ordinateur portable **73**
Orientation et anticipation **434**
Origine des problèmes de sécurité **156**
Outils de diagnostic **157**

P

Pentes - Ralentissement en montée **379**
Pentes - Température des freins **375**
Pentes - Visibilité **382**
Pentes composées **361**
Pentes descendantes **361**
Pentes descendantes - Aires de vérification **363**
Pentes descendantes - Drainage **362**
Pentes descendantes - Lits d'arrêt **364**
Pentes descendantes - Signalisation **362**
Pentes montantes **365**
Pentes montantes - Drainage **367**
Pentes montantes - Voies pour véhicules lents **366**
Perception **427**
Perception du public **296**
Période d'accidents **144**
Périodes « avant » et « après » **302**
Plan d'action en sécurité routière **33**
Points de conflits aux intersections **458**
Points noirs **104**
Poisson (loi de) **143**

Possibilités d'évitement et de récupération **55**
Potentiel d'amélioration **105, 121, 140**
Préparatifs **170**
Prévention des accidents **425**
Prévisions du nombre de décès **9**
Principe de cohérence dans le temps **57**
Principe de cohérence dans l'espace **56**
Principes de sécurité **169**
Priorités de passage **449**
Problèmes et solutions (infrastructure routière) **180**
Problèmes fréquents **169**
Procédure - Analyse statistique des accidents **163**
Procédure - Observations au site **168**
Processus d'amélioration de points noirs **103**
Processus décisionnel **131**
Profil des accidents **12**
Programmation linéaire en nombres entiers (PLINE) **277**
Programme de sécurité routière **24**

Q

Qualité (principe de) **54**

R

Rapport d'accident **72**
Ratio marginal avantages/coûts (RMAC) **278**
Ratio masse/puissance (M/P) **381**
Rayon (ou degré) de courbure **326**
Rayon de courbure irrégulier **327**
Recherche des facteurs contributifs **165**
Réduction d'accidents - Stratégies **35**
Régression vers la moyenne - Correction **315**
Régression vers la moyenne **144, 297**
Relevé de circulation manuel (électronique) **515**
Relevé de circulation manuel (mécanique) **515**
Relevé de circulation manuel (formulaire) **512**
Relevé de circulation automatique **516**
Relevé de circulation **295, 510**
Renversement **335**
Ressuage **536**
Retards **560**
Rôle de l'humain dans les accidents routiers **425**
Rôles et responsabilités de quelques organisations **28**

S

Scénarios d'accidents **161**
Secteur privé et groupes d'intérêts **28**
Sécurité durable **25**
Seuil individuel (valeurs minimales de critères) **117**
Seuils combinés **117**
Seuils individuels **117**
Signalisation **343, 362**
Sinuosité générale d'une courbe **327**
Sites de contrôle **301**
Sites faciles - patrons d'accidents multiples **166**
Sites faciles - patrons d'accidents simples **166**

Sites faciles et sites difficiles **166**
Sommaires d'accidents **163**
Sommolence et inattention **187**
Soutien politique et social **29**
Statistique **161**
Stockage des données d'accidents **81**
Stratégies d'identification de lacunes de sécurité **142**
Structure de base de gestion de la sécurité **27**
Structure organisationnelle **26**
Suivi de la voie **431**
Suivi des objectifs nationaux **290**
Suivi et évaluation **33**
Système à bande magnétique **74**
Système de catégorisation des routes **434**
Système élémentaire (HEV) **47**
Système GPS **80**
Système GPS - Avantages et inconvénients **81**
Système intégré de données **29**
Systèmes experts **92**

T

Tableaux comparatifs des accidents **165**
Tableaux sommaires d'accidents **164**
Tables d'accidents **190**
Tâche de conduite **186**
Taille de l'échantillon **501**
Taux d'accidents **59, 145**
Taux d'accidents - Hypothèse de linéarité **145**
Taux d'accidents critique **112**
Taux d'accidents critique - Hypothèse de linéarité **146**
Taux d'actualisation **272**
Taux de glissement **541**
Taux de rentabilité immédiate (TRIM) **273**
Taux de rentabilité interne (TRI) **278**
Taux et tendances **12**
Température initiale des freins **378**
Temps de déplacement **296, 560**
Temps de réaction **187**
Temps en déplacement **562**
Tension et charge de travail **426**
Test de la distribution binomiale **122**
Test du chi-deux **313**
Test k **312**
Test t (de student) - Comparaison d'échantillons **308**
Test de Kolmogorov - Smirnov **310**
Tests standards – Modifications des accidents **302**
Triangle de visibilité **394**
Type d'accident **59**
Types de carrefours giratoires **480**
Types de conflits de circulation **582**
Typologie des études de sécurité **48**

U

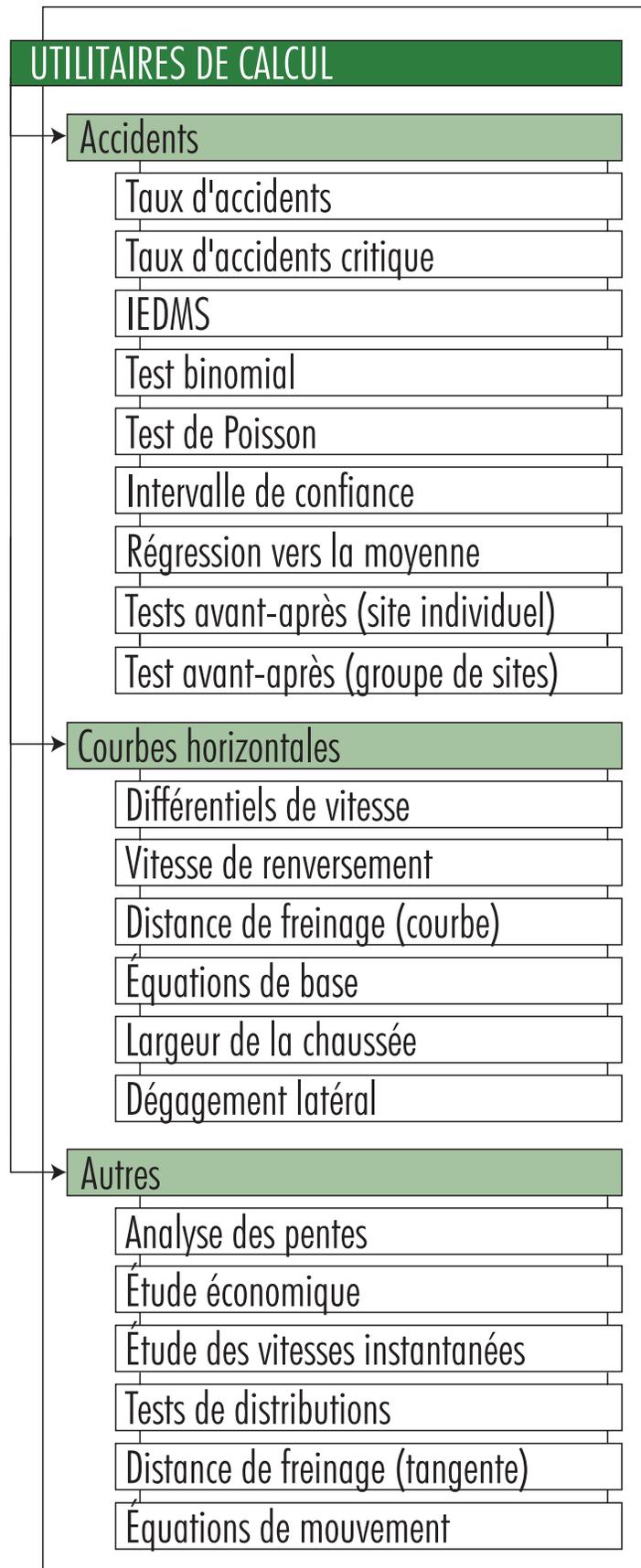
Uni **404**
Uni longitudinal **411**

Uni transversal **412**
Usagers spécifiques **461**
Utilisateurs des données d'accidents **71**

V

V85 (85^e centile) **504**
Valeur actualisée nette (VAN) **274, 275**
Valeur actualisée nette/valeur actualisée **276**
Valeur monétaire des catégories d'accidents **271**
Valeur monétaire par catégories d'accidents **271**
Valeur résiduelle **270**
Véhicule flottant (temps de déplacement) **563**
Véhicule moyen (temps de déplacement) **563**
Véhicules lourds **393**
Vidéos et nouvelles technologies **517**
Vieillesse des granulats **536**
Virages à gauche **465, 466**
Virages à droite **465**
Vision Zéro **25**
Vitesse **295**
Vitesse - Intersection **469, 480**
Vitesse - Pente **365**
Vitesse de déplacement **562**
Vitesse en déplacement **562**
Voie centrale de virage à gauche **472**
Voie de virage à gauche semi-directe **471**
Voie réservée de virage à droite **485**
Voies d'accélération **477**
Voies de décélération **477**
Voies pour véhicules lents **366**

Les utilitaires de calcul suivants sont disponibles dans la version électronique du manuel.



Instructions pour l'installation

Le cédérom qui accompagne ce manuel contient la version électronique du manuel, en format Adobe Acrobat® Reader (.pdf), ainsi que plusieurs utilitaires de calcul. Pour installer les fichiers sur votre ordinateur, veuillez suivre les indications suivantes :

1. Insérer le cédérom du Manuel de sécurité routière dans le lecteur de cédérom.
2. Si le programme d'installation ne démarre pas automatiquement après quelques secondes, veuillez suivre les étapes suivantes :
 - a. Choisissez l'action « Exécuter » dans le menu « Démarrer » de la barre des tâches de Windows®.
 - b. Tapez **X:\setup.exe**, puis appuyez sur « Retour », où **X** représente la lettre de votre lecteur de cédérom.
3. Le programme d'installation vous guidera tout au long du processus d'installation du manuel de sécurité routière.

Ce manuel, rédigé par les experts de l'Association mondiale de la route (AIPCR), constitue une référence de base pour tous les ingénieurs en transport qui sont préoccupés par les problèmes de sécurité routière.

L'ouvrage, qui compte plus de 600 pages, présente dans un format simple et de consultation facile, un état actualisé des connaissances accumulées dans le domaine au cours des dernières décennies.

L'ouvrage se divise en quatre parties. La première partie introduit le lecteur au domaine de la sécurité routière. La deuxième partie décrit un processus complet d'analyse et d'intervention en matière de sécurité (de la collecte de données à l'évaluation). La troisième partie explique, de façon détaillée, la relation entre différentes composantes de la route et la sécurité (alignement horizontal, alignement vertical, etc.). La quatrième partie décrit toutes les étapes nécessaires à la réalisation d'études et de relevés techniques (distances de visibilité, vitesses pratiquées, etc.).

Un CD-Rom est inclus au manuel. Il contient le texte de la version papier (en français et en anglais) ainsi que plusieurs programmes utilitaires qui simplifient l'utilisation des méthodes de calcul décrites dans l'ouvrage. Il fonctionne sur un ordinateur de type PC.

Québec 

Ouvrage publié avec le concours du
ministère des Transports du Québec



AIPCR - ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE

La Grande Arche - Paroi Nord - Niveau 8

92055 LA DÉFENSE Cedex

Fax : + 33 1 49 00 02 02

E-mail : piarc@wanadoo.fr

<http://www.piacr.org>

ISBN : 2-84060-158-3

Publié Par:



Dans l'association avec:

