

## L'ÉVALUATION DES RISQUES DANS LES TUNNELS ROUTIERS

Gary CLARK (1), Atkins (Royaume-Uni), membre associé du GT2 et Bernhard KOHL (2), ILF (Autriche), président du GT2 Comité technique AIPCR C4 'Exploitation des tunnels routiers' Illustrations © ILF Consulting Engineers



## RISK EVALUATION FOR ROAD TUNNELS

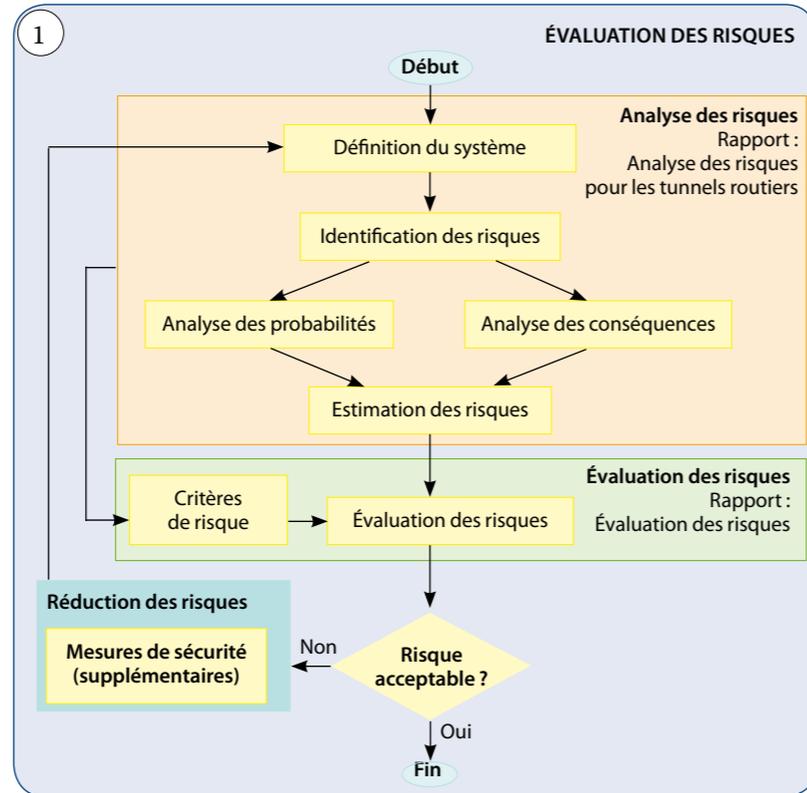
Gary CLARK (1), Atkins (United Kingdom) Associate Member of WG2 and Bernhard KOHL (2), ILF (Austria) Chair of WG2 PIARC Technical Committee C4 'Road Tunnel Operations' Illustrations © ILF Consulting Engineers

Le processus d'évaluation des risques a pour but d'aider à déterminer si un tunnel est suffisamment sûr, c'est-à-dire si les risques sont acceptables ou si des mesures supplémentaires sont nécessaires pour réaliser les objectifs de sécurité.

La gestion de la sécurité présente des difficultés particulières dans le cas des tunnels routiers, où les risques sont significatifs et les conséquences des incidents peuvent être graves. Cela est d'autant plus vrai pour les tunnels existants, où des contraintes physiques spécifiques doivent parfois être prises en compte dans la conception et la mise en œuvre des améliorations de sécurité. L'utilisation des techniques fondées sur le risque, dans le processus de gestion de la sécurité d'un tunnel, assure une approche structurée, harmonisée et transparente de l'appréciation des risques, dont un aspect important est l'évaluation des risques.

### PROCESSUS D'APPRÉCIATION DES RISQUES

Le processus d'appréciation des risques comprend trois principaux éléments : l'analyse des risques, l'évaluation des risques et la réduction des risques. L'analyse des risques pour les tunnels routiers est décrite dans un précédent rapport publié par ce comité technique en 2007 [1]. L'évaluation des risques a fait l'objet d'une étude du groupe de travail sur la sécurité des tunnels pendant le présent cycle, qui a abouti à un rapport [2], actuellement en cours d'achèvement. La figure 1



illustre le processus général d'appréciation des risques, décrit ci-après.

- L'analyse des risques est une approche systématique consistant à analyser les séquences et les interactions dans les incidents ou les accidents potentiels, pour identifier les points faibles du système et recenser les mesures d'amélioration possibles.
- L'évaluation des risques porte directement sur la question de l'acceptabilité des risques identifiés, en fonction des critères de risques particuliers qui ont été définis.
- La réduction des risques est nécessaire si le risque estimé est considéré comme inacceptable, auquel cas des mesures de sécurité supplémentaires doivent être proposées.

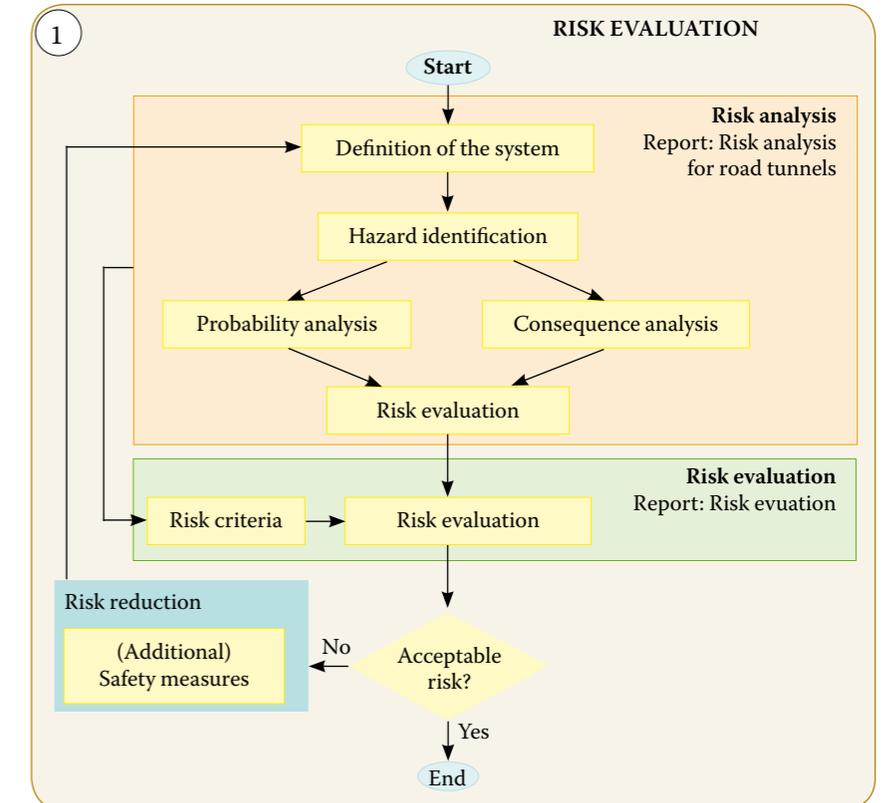
Figure 1 – Schéma du processus d'appréciation des risques [1]

The process of risk evaluation is intended to help answer the question of whether a tunnel is safe enough; i.e. are the risks acceptable or are additional measures needed to meet safety objectives?

The management of safety has particular challenges in road tunnels where hazards are significant and the consequences of incidents can be severe. This is especially true for existing tunnels, where there may be particular physical constraints to consider in the design and implementation of safety improvements. The application of risk-based techniques in the process of tunnel safety management allows for a structured, harmonised and transparent approach to the assessment of risks; an important aspect of which is risk evaluation.

### THE RISK ASSESSMENT PROCESS

The process of risk assessment incorporates the three important elements of risk analysis, risk evaluation and risk reduction. Risk analysis for road tunnels is described in a previous report



of this Technical Committee in 2007 [1]. Risk evaluation has been the focus of the Working Group on tunnel safety in the current cycle, culminating in a report [2] that is now being finalised. Figure 1 illustrates the overall risk assessment process, as described below:

- Risk analysis is a systematic approach to analyse sequences and interrelations in potential incidents or accidents, hereby identifying weak points in the system and recognising possible improvement measures
- Risk evaluation is directed towards the question of acceptability of the

identified risks, as judged against particular risk criteria that have been defined

- Risk reduction is required if the estimated risk is considered as unacceptable, additional safety measures have to be proposed to reduce risk.

### BACKGROUND AND APPROACH TO RISK EVALUATION

Whereas risk analysis is a scientific process of assessment of probabilities

Figure 1 - Flowchart of the procedure for risk assessment [1]

## CONTEXTE ET APPROCHE DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

Si l'analyse des risques est un processus scientifique d'appréciation des probabilités et des conséquences prévisibles des risques identifiés, l'évaluation des risques est un processus sociopolitique dans lequel des jugements sont portés sur l'acceptabilité de ces risques. Cette dernière dépend fortement de la perception du risque, car l'acceptation est fonction de l'ampleur des avantages prévus et de la mesure dans laquelle l'exposition au risque est volontaire et contrôlable.

L'évaluation des risques dépend clairement de la perception du risque. Cet effet, parfois appelé aversion au risque, désigne le fait que certains accidents sont perçus comme beaucoup plus graves que le risque concerné ne semblerait l'indiquer. Ainsi, un accident faisant des centaines de morts, selon une fréquence d'une fois par siècle, peut être considéré comme bien pire qu'une série d'accidents faisant chacun un mort, selon une fréquence d'une fois par an, alors que le risque en termes de valeur attendue est la même dans les deux cas. L'aversion au risque est souvent incluse dans les stratégies d'évaluation des risques en surévaluant délibérément, au cours du processus d'évaluation, le risque d'incidents aux conséquences de grande ampleur. L'opération peut être effectuée en définissant des critères d'évaluation du risque qui prennent en compte cette perception du risque. Tel serait le cas d'une ligne d'acceptabilité, sur un diagramme F/N, dont la pente serait d'une grandeur supérieure à l'unité, faisant en sorte que les incidents aux conséquences élevées deviennent moins acceptables que les incidents aux faibles conséquences. Des diagrammes F/N figurent plus loin dans cet article.

Il est possible de spécifier différents critères d'acceptabilité du risque. Les critères fondés sur les risques comprennent une évaluation de la fréquence et des conséquences des incidents. Les critères d'évaluation peuvent être établis de différentes manières, avec différents niveaux de complexité. L'évaluation peut être qualitative, par exemple en faisant appel à un système de notation par matrice de risque, ou quantitative, au moyen d'une analyse déterminant les risques en termes de valeurs attendues ou de courbes F/N. Les approches quantitatives constituent actuellement le principal objet d'étude du groupe de travail sur la sécurité des tunnels [2], notamment pour le risque sociétal, où des principes communs sont appliqués à l'échelle internationale, mais où les approches diffèrent entre les pays (figure 2, page de droite).

## CRITÈRES ABSOLUS OU RELATIFS

Le risque sociétal pour un tunnel particulier peut être évalué en fonction de critères absolus ou relatifs, ou des deux types, comme c'est souvent le cas dans la pratique. L'évaluation en fonction de critères absolus exige l'établissement d'un seuil ou d'un risque cible pour le projet. Le risque calculé du tunnel doit alors être inférieur à cette cible pour être acceptable. L'évaluation en fonction de critères relatifs exige l'établissement d'un profil de risque de référence représentant un tunnel équivalent considéré comme ayant un niveau de risque acceptable, en général parce qu'il répond à toutes les normes et directives pertinentes. Le risque calculé du tunnel doit alors être suffisamment inférieur à celui du tunnel de référence pour être acceptable.

Pour le risque exprimé en valeur attendue (VA, le risque en nombre prévu de morts par an), l'évaluation est simple ; cependant, la définition de la valeur seuil, si elle n'est pas admise sur le plan national, exigera un examen minutieux dans le contexte spécifique du projet et devra obtenir l'adhésion de l'ensemble des parties prenantes. Cette approche est aisée à mettre en œuvre, mais ne prend pas en compte la distribution des conséquences (les accidents à très faible probabilité et à conséquences très élevées représentent une petite part de la valeur attendue). Il peut s'avérer nécessaire d'inclure un facteur d'aversion au risque pour compenser ce défaut, de sorte que les incidents au nombre élevé de morts soient moins acceptables que les incidents plus fréquents au nombre de morts plus faible.

Pour le risque exprimé sous la forme d'une courbe F/N, des informations graphiques sont fournies sur la fréquence des incidents et la distribution des nombres de morts au cours de ces incidents. Dans certains pays, les critères d'évaluation absolus sont définis sous la forme de lignes d'acceptation sur le diagramme F/N, qui sont en général strictement liées à une méthode d'analyse ou à un modèle de risque spécifique. Ces lignes ont souvent des limites supérieures et inférieures entre lesquelles est définie une zone ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), où les risques doivent être réduits autant qu'il est raisonnablement possible, c'est-à-dire tant que le coût de la réduction des risques n'est pas disproportionné par rapport à l'avantage économique. Les lignes de critère à la figure 3, page de droite) montrent une représentation type d'une application pratique des critères d'acceptabilité sur le diagramme F/N.

La définition des courbes et limites d'acceptabilité sur le diagramme F/N, comme celle des critères absolus pour le risque en termes de VA, n'est pas simple et représente souvent un processus à long terme impliquant toutes les parties prenantes. L'approche comparative avec les courbes F/N est très

and the expected consequences of identified risks, risk evaluation is a socio-political process in which judgments are made about the acceptability of those risks. The acceptability of risk is strongly influenced by risk perception where acceptance depends on the degree of the expected benefit and the extent to which exposure to the risk is voluntary and controllable.

The evaluation of risk is clearly influenced by risk perception; this effect is sometimes called risk aversion. Risk aversion refers to the fact that some accidents are perceived to be much worse than their inherent risk would indicate. For example an accident with a hundred fatalities and a frequency once every one hundred years may be judged much worse than a series of accidents, each with one fatality and a frequency of one per year, although the risk in terms of expected value is the same in both cases. Risk aversion is often included in strategies for risk evaluation by intentionally over-valuing the risk of incidents with large consequences in the evaluation process. This may be done by defining criteria for risk evaluation that take account of such risk perception. An example of this would be an acceptability line on an FN diagram with a gradient of magnitude greater than unity, so that incidents at the high-consequence end of the graph become less acceptable, relative to those at the low-consequence end. FN diagrams are illustrated later in this article.

Different criteria for acceptability of risk may be specified. Risk-based criteria include an evaluation of both the frequency and the resulting consequences of incidents. Establishing evaluation criteria can be done in different ways with different

levels of complexity. Evaluation may be qualitative, for example using a risk-matrix scoring system; or quantitative where risk analysis has been used to derive risk in terms of expected values or FN curves. Evaluation of quantitative approaches forms the main focus of the current work of the tunnel safety working group [2], particularly for societal risk, where common principles are applied internationally but approaches differ between countries (figure 2).

## ABSOLUTE OR RELATIVE

Societal risk for a particular tunnel may be evaluated against absolute or relative criteria; or both as is often the case in practice. Evaluation against absolute criteria requires an agreed threshold or target risk to be established for the project. The calculated risk for the tunnel must then fall below this target to be acceptable. Evaluation against relative criteria typically requires the establishment of a reference risk profile that represents an equivalent tunnel that is deemed to have an acceptable level of risk,



typically because it complies with all the relevant standards and guidelines. The calculated risk for the tunnel must then fall sufficiently below that of the reference tunnel to be acceptable.

For risk expressed as the expected value (EV, the risk in terms of expected annual fatalities), the evaluation is fairly straightforward, although the definition of the threshold value, if not nationally accepted, will need careful consideration in the context of the specific project and achieve the buy-in from all the relevant stakeholders. This approach is easy to apply but does not take into account the distribution of consequences (accidents with very low probability/very high consequences

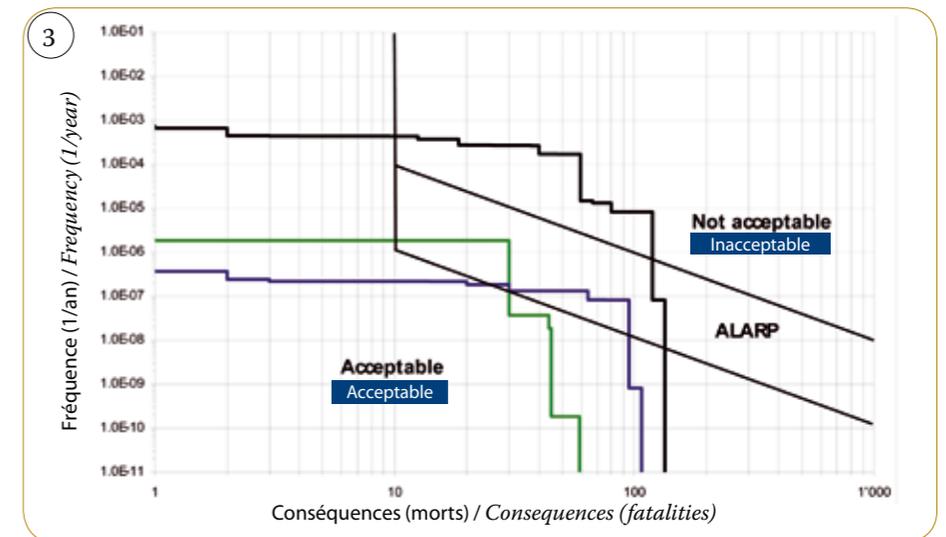


Figure 2 (page de droite) – Tunnel routier au Royaume-Uni en cours d'amélioration des systèmes de ventilation et de sécurité  
Figure 3 (page de droite) - Diagramme FN présentant un exemple fictif de critères d'acceptabilité

Figure 2 – UK road tunnel undergoing improvements to ventilation and safety systems  
Figure 3 - FN diagrams including (fictitious) example criteria of acceptability

Type de trafic Type of traffic	Système de ventilation Ventilation system	Longueur tunnel Tunnel length (m)	Trafic moyen journalier (véh./jour) / Daily average traffic volume (veh/day)																	
			≤ 10.000			≤ 15.000			≤ 20.000			≤ 30.000			≤ 40.000					
Pourcentage véhicules lourds / Heavy vehicles in percent			≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 5	≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 5	≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 5	≤ 10	> 10	
Tunnel uni-directionnel Uni-directional tunnel	Naturel / Natural	≤ 250																		
	Naturel / Natural	≤ 500																		
	Naturel / Natural	≤ 700																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 700																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 1.000																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 1.500																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 2.000																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 2.500																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 3.000																		
Transversal / Transverse	≤ 4.000																			
Transversal / Transverse	≤ 7.000																			
Tunnel bi-directionnel Bi-directional tunnel	Naturel / Natural	≤ 250																		
	Naturel / Natural	≤ 500																		
	Naturel / Natural	≤ 700																		
	Naturel / Natural	≤ 1.000																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 1.500																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 2.000																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 2.500																		
	Longitudinal / Longitudinal	≤ 3.000																		
	Transversal / Transverse	≤ 3.000																		
Transversal / Transverse	≤ 4.000																			
Transversal / Transverse	≤ 7.000																			

4

utile pour la comparaison des solutions en fonction du risque, mais les graphiques F/N peuvent être difficiles à interpréter et doivent être lus très soigneusement, en particulier à l'intersection des courbes.

Pour améliorer la solidité de l'évaluation des risques, les différentes stratégies sont souvent combinées entre elles et avec d'autres approches, comme l'analyse de scénarios, dans laquelle des scénarios spécifiques sont étudiés (modélisés) pour contribuer à optimiser le niveau de sécurité assurée, afin de satisfaire aux critères de risque tels que les temps de tenabilité ou les délais d'évacuation ; et l'analyse de rentabilité, dans laquelle les mesures de sécurité peuvent être hiérarchisées pour que l'emploi des ressources permette de réduire les risques au minimum.

## EXEMPLE DE L'AUTRICHE

L'Autriche peut être un bon exemple montrant l'évolution de l'appréciation des risques pour les tunnels routiers au cours des dix dernières années, selon un grand nombre d'approches différentes. Dans le passé, la conception de la sécurité des tunnels routiers en Autriche était exclusivement fondée sur des prescriptions. La directive européenne a défini l'analyse des risques comme une approche complémentaire à la sécurité des tunnels routiers. L'Autriche a été l'un des premiers pays à développer sa propre méthode d'analyse des risques, publiée sous la forme des principes directeurs RVS 09.03.11 [3], en 2008.

La méthode autrichienne comprend une approche relative de l'évaluation des risques. Elle est basée sur le principe qu'un tunnel est suffisamment sûr si son risque est inférieur au risque d'un tunnel de référence satisfaisant à toutes les exigences de la directive européenne, y compris aux paramètres de référence définis en annexe 1 de la directive (par exemple : une pente longitudinale de 3 % maximum ou un nombre de poids lourds de 15 %). Cette approche de l'évaluation des risques par comparaison relative en termes de valeur attendue est complétée par une évaluation de la grandeur absolue du risque résultant d'une analyse des risques, utilisée pour une classification des tunnels dans les catégories de risque de 1 à 4. En Autriche, la catégorie de risque d'un tunnel sert à définir les exigences d'équipement, selon les principes directeurs concernant les tunnels.

Cette approche pour l'appréciation de la sécurité des tunnels routiers est appliquée à tous les tunnels.

Par ailleurs, en Autriche comme dans quelques autres pays, un processus multi-étapes spécifique d'appréciation des risques est effectué pour le transport des marchandises dangereuses, à l'aide de DG-QRAM (le modèle d'analyse quantitative des risques AIPCR/OCDE), défini dans les principes directeurs autrichiens RVS 09.03.12. [4] Ce processus multi-étapes est le suivant :

- Étape 1 : Approche simple initiale : application d'une matrice de classification

Figure 4 - Approche simple à l'aide d'une matrice de classification [4].

only contribute to a minor extent to the expected value). If appropriate, a risk aversion factor may be included to offset this so that incidents with high numbers of fatalities are made less acceptable than the more frequent incidents with fewer fatalities.

For risk expressed in the form of an FN curve, graphical information is provided about the frequency of incidents and the distribution of the numbers of fatalities in those incidents. In some countries, absolute evaluation criteria are defined in the form of acceptance lines on the FN diagram and these reference lines are typically strictly linked to a specific analysis method or risk model. Acceptance lines in the FN diagram often have upper and lower limits between which an ALARP zone is defined, where risks should be reduced to as low as reasonably practicable. Risks in this zone should typically be reduced as long as the cost of the risk reduction is not disproportionate to the monetary benefit. A typical representation of a practical application of acceptability criteria in the FN diagram is shown by the criterion lines in *figure 3, previous page*.

As with the absolute criteria for risk in terms of EV, the definition of the acceptability curves/boundaries in the FN diagram is not straightforward and is often a long-term process in which all stakeholders are involved. The comparative approach with FN curves is very useful for the risk-based comparison of alternatives but FN graphs can be difficult to interpret and need to be read very carefully, particularly where curves intersect.

To increase the robustness of risk evaluation, the different risk evaluation strategies described are often combined with each other

and with other approaches such as scenario analysis where specific scenarios are investigated (modelled) to help optimise the level of safety provision to meet risk criteria such as tenability or evacuation time; and cost-effectiveness analysis where safety measures may be prioritised to ensure that the resources are spent in such a way that the maximum risk reduction is obtained.

## EXAMPLE OF AUSTRIA

Austria may serve as a good example to demonstrate the evolution of risk assessment for road tunnels in the last decade, including the variety of different approaches for risk assessment. In the past, the safety design of road tunnels in Austria was exclusively based on prescriptive guidelines. The EC Directive established risk analysis as a complementary approach to road tunnel safety; Austria was among the first countries to develop its own risk analysis methodology, which was published in the guideline RVS 09.03.11 [3] in 2008.

The Austrian method includes a relative approach to risk evaluation. This is based on the philosophy that a tunnel is sufficiently safe, if its risk is lower than the risk of a reference tunnel which fulfils all the requirements of the EU-Directive, including benchmark parameters defined in annex 1 of the Directive (such as a longitudinal gradient of maximum 3% or a percentage of HGVs of 15%). This approach of risk evaluation by relative comparison at the level of the expected value is complemented by an evaluation of the absolute magnitude of risk resulting from a risk analysis, which is applied for a classification of

tunnels into 1 of 4 danger classes. The danger class of a tunnel is used for the definition of requirements for tunnel equipment according to the Austrian tunnelling guidelines.

This approach is applied to all tunnels to assess road tunnel safety in general.

Additionally, in Austria – like in some other countries - a specific multistage risk assessment process is applied for dangerous goods transport using the DG-QRAM (the PIARC/OECD quantitative risk analysis model) which is defined in the Austrian guideline RVS 09.03.12. [4] This multi-stage process comprises:

- Stage 1: An initial simple approach – applying a classification matrix
- Stage 2a: A detailed risk analysis – applying DG-QRAM
- Stage 2b: Investigation of additional risk mitigation measures – according to DG-QRAM results
- Stage 3: Investigation of alternative transport routes for dangerous goods – applying DG-QRAM

In the three-stage process, first of all a matrix is used to identify tunnels with expectedly low risks for hazardous materials transportations. The classification matrix takes into account risk factors like tunnel length, type of traffic (bi-directional or uni-directional), the ventilation system (natural, longitudinal or transverse), the traffic volume and the percentage of heavy goods vehicles. The matrix was elaborated by performing a series of risk analyses for model tunnels, applying a defined relevance criteria for the expected risk value (*figure 4, left page*).

If a tunnel-specific risk analysis (applying DQ-QRAM) is required (i.e. if a tunnel is allocated to a yellow field

Figure 4 (left page) - Simple approach using a classification matrix [4]

- Étape 2a : Analyse détaillée des risques : utilisation de DG-QRAM
- Étape 2b : Recherche de mesures supplémentaires d'atténuation du risque en fonction des résultats de DG-QRAM
- Étape 3 : Recherche d'autres itinéraires de transport des marchandises dangereuses : utilisation de DG-QRAM

Dans ce processus à trois étapes, une matrice est d'abord utilisée pour identifier les tunnels dont le risque prévu pour le transport des marchandises dangereuses est faible. La matrice de classification prend en compte les facteurs de risque comme la longueur du tunnel, le type de circulation (bidirectionnelle ou unidirectionnelle), le système de ventilation (naturelle, longitudinale ou transversale), le volume de trafic et le pourcentage de poids lourds. La matrice de classification a été élaborée en réalisant une série d'analyses des risques pour les modèles de tunnels, à l'aide des critères de pertinence définis pour la valeur attendue du risque (figure 4, page précédente).

Si une analyse du risque spécifique au tunnel (avec DQ-QRAM) est nécessaire (par exemple, si un tunnel se situe dans un champ jaune de la matrice ou ne remplit pas les conditions préalables d'utilisation), alors une courbe de référence sur le diagramme F/N est utilisée comme critère absolu, pour l'évaluation des risques. Si la courbe de référence est dépassée, le risque est évalué comme inacceptable et des mesures supplémentaires d'atténuation du risque ou d'autres itinéraires de transport doivent être recherchés (figure 5, page de droite).

La ligne de référence autrichienne sur le diagramme F/N est définie comme suit :

$$F = 0,1 \cdot N^{-2} \text{ pour } N > 10 \text{ morts}$$

Cette ligne de référence, utilisée dans la deuxième étape du processus d'évaluation, est strictement liée au modèle de risque DG-QRAM et est valable pour un tunnel routier d'une longueur de 1 km. Pour les autres tunnels, elle est adaptée selon la formule suivante :

$$F = 0,1 \cdot N^{-2} \cdot L^{0,5} \text{ pour } N > 10 \text{ morts}$$

Cette ligne de référence d'acceptabilité du risque a été déterminée en tenant compte du niveau de risque d'un système de référence (aviation) en Autriche, des caractéristiques du modèle de risque DG-QRAM, des caractéristiques de l'ensemble des tunnels routiers autrichiens et des résultats de calculs d'essais pour un modèle de tunnel type.

## OBSERVATIONS FINALES

Une évaluation systématique des risques, en fonction d'une analyse systématique des risques, est très utile à la prise de décision concernant la gestion de la sécurité d'un tunnel. Cependant, il est recommandé que l'analyse et l'évaluation des risques ne forment que l'un des éléments sur lesquels s'appuie la prise de décision en matière de gestion de la sécurité des tunnels.

Pour déterminer les critères d'évaluation des risques, il est important de reconnaître que la stratégie d'évaluation des risques dépend fortement de la méthode d'analyse des risques choisie, ainsi que du champ et des conditions d'appréciation des risques. Bien que les modèles de risque tentent d'être aussi proches que possible de la réalité et de mettre en œuvre des données de base réalistes, il est important de garder à l'esprit qu'ils ne peuvent jamais prédire des événements réels et qu'ils comportent une part d'incertitude et d'imprécision. En conséquence, les résultats de l'analyse quantitative des risques ne doivent être considérés comme précis que pour un certain ordre de grandeur et doivent être étayés par des analyses de sensibilité ou autres études similaires. L'évaluation des risques par comparaison relative (par exemple, d'un état existant par rapport à un état de référence) peut améliorer la solidité des conclusions, mais la définition du tunnel de référence doit être effectuée avec soin.

Le rapport [2] du groupe de travail du CT4 sur la sécurité des tunnels, en cours d'achèvement, sera publié en 2011.#

### RÉFÉRENCES

1. [AIPCR 2008R02] Comité technique AIPCR C3.3 'Exploitation des tunnels routiers' *Analyse des risques pour les tunnels routiers*, ISBN: 2-84060-202-4
2. Comité technique AIPCR C4.2 'Exploitation des tunnels routiers', *Méthodes actuelles d'évaluation des risques dans les tunnels routiers*, à publier.
3. FSV 2008: RVS 09.03.11: *Methodology of Risk Analysis*
4. FSV 2010: RVS 09.03.12: *Risk Assessment of Dangerous Goods Transports in Road Tunnels*

of the matrix or does not comply with the prerequisites for its use), then for risk evaluation, a reference curve in the F-N diagram is used as absolute evaluation criteria. If the reference curve is exceeded, the risk is evaluated as not acceptable and additional risk mitigation measures or alternative transport routes have to be investigated (figure 5)

The Austrian reference line in the FN diagram is defined as follows:

$$F = 0.1 \cdot N^{-2} \quad \text{for } N > 10 \text{ fatalities}$$

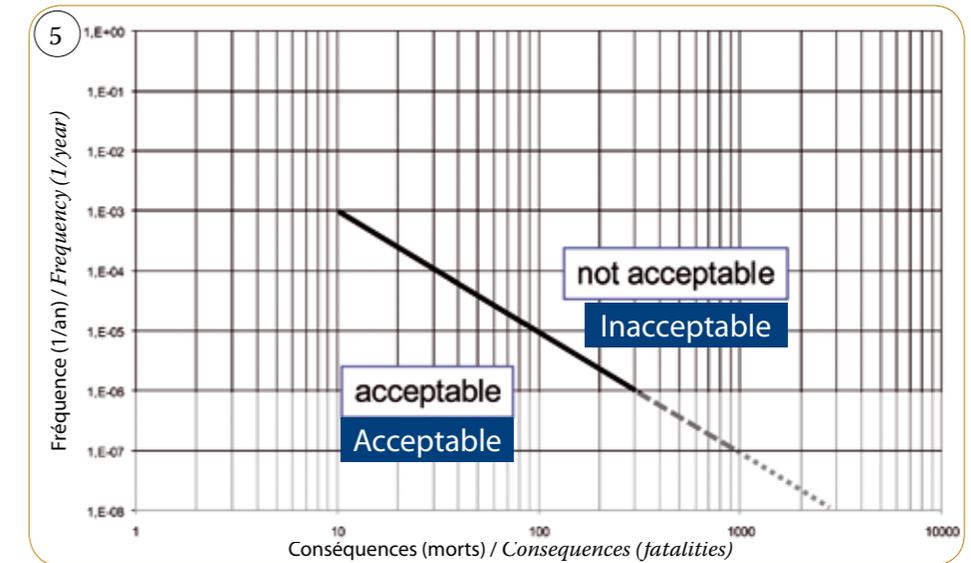
This reference line, as applied in the second stage of the multistage evaluation procedure, is strictly linked to the risk model DG-QRAM and is valid for a 1 km long road tunnel. It is adapted to tunnels with other lengths according to the formula:

$$F = 0.1 \cdot N^{-2} \cdot L^{0.5} \text{ for } N > 10 \text{ fatalities}$$

This particular risk acceptability reference line was derived taking account of the risk level of a reference system (aviation) in Austria, the characteristics of the risk model DG-QRAM, the characteristics of the Austrian road tunnel collective and the results of test calculations for a typical model tunnel.

## CONCLUDING COMMENTS

A systematic risk evaluation, on the basis of a systematic risk analysis well serves the tunnel safety management decision making process. It is recommended however, that risk analysis and evaluation form just one of a number of bases for decision-making in tunnel safety management.



When determining risk evaluation criteria it is important that it is recognised that the strategy for risk evaluation is strongly dependent on the method of risk analysis chosen and the specific scope and circumstances of the risk assessment. Although risk models try to be as close to reality as possible and try to implement realistic base data, it is important to consider that the models can never predict real events and that there is a degree of uncertainty and fuzziness in the results. Considering this uncertainty, the results of quantitative risk analysis should be considered accurate only to an order of magnitude and should be supported by sensitivity studies or similar. Risk evaluation by relative comparison (e.g. of an existing state to a reference state of a tunnel) may improve the robustness of conclusions

drawn but care should be taken in the definition of the reference tunnel.

The report [2] of the TC4 working group on tunnel safety is currently being finalised and will be published in 2011.#

### REFERENCES

1. [PIARC 2008R02] PIARC Technical Committee C3.3 'Road Tunnel Operation', Report 2008R02 *Risk analysis for road tunnels*, ISBN: 2-84060-202-4
2. PIARC Technical Committee C 4.2 'Road Tunnel Operation', Report *Current practice for risk evaluation for road tunnels*, in publication.
3. FSV 2008: RVS 09.03.11: *Methodology of Risk Analysis*
4. FSV 2010: RVS 09.03.12: *Risk Assessment of Dangerous Goods Transports in Road Tunnels*

Figure 5 (page de droite) – Critères de risque autrichiens pour le transport des marchandises dangereuses dans les tunnels routiers [4]

Figure 5 - Austrian risk criteria for dangerous goods transport through road tunnels [4]