

# Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers

Fascicule 3

Les analyses des risques liés au transport  
des marchandises dangereuses

Décembre 2005

# Le Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers

Pour chaque tunnel du réseau routier d'une longueur supérieure à 300 mètres, un dossier de sécurité doit être établi et soumis au préfet. La réglementation définit les procédures d'instruction de ce dossier.

Tous les acteurs ayant une responsabilité dans la sécurité du tunnel (maître d'ouvrage, exploitant, services d'intervention et de secours, préfecture) doivent participer à l'élaboration de ce dossier qui, une fois constitué, contient notamment les éléments fondateurs de l'exploitation de l'ouvrage en toutes circonstances.

C'est à l'intention de tous ces services et aussi des maîtres d'œuvre et des bureaux d'études que le **guide des dossiers de sécurité** est rédigé.

Le document introductif «Finalités du dossier de sécurité» est paru en mars 2003. Sa lecture est recommandée à toutes les personnes qui souhaitent comprendre le sens général de la démarche préconisée et l'articulation des différentes pièces constitutives du dossier de sécurité.

Le **guide des dossiers de sécurité**, dont le document qui vient d'être cité constitue en quelque sorte le «fascicule 0», comprend les **cinq fascicules** suivants, parus ou à paraître :

- **fascicule 1** : Modalités d'élaboration du dossier de sécurité;
- **fascicule 2** : Tunnels en exploitation «de l'état des lieux à l'état de référence» (juin 2003);
- **fascicule 3** : Les analyses des risques liés au transport des marchandises dangereuses ;
- **fascicule 4** : Les études spécifiques des dangers (ESD) (septembre 2003);
- **fascicule 5** : Le plan d'intervention et de sécurité (PIS) (prévu en 2006).

## *Contexte réglementaire*

---

- La circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000, relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national, prescrit au maître d'ouvrage (en association avec l'exploitant pour les tunnels en service) l'établissement d'un dossier de sécurité pour tous les tunnels d'une longueur supérieure à 300 m.
- La circulaire n° 2000-82 du 30 novembre 2000 a complété la circulaire n° 2000-63 en ce qui concerne la

circulation des véhicules transportant des marchandises dangereuses dans les tunnels routiers du réseau national.

- Le décret n° 2005-701 du 24 juin 2005, pris en application de la loi du 3 janvier 2002 relative à la sécurité des infrastructures et systèmes de transport, confirme ce dispositif et l'étend à tous les ouvrages des collectivités locales d'une longueur supérieure à 300 mètres.

- La directive 2004/54/CE du Parlement Européen et du conseil du 29 avril 2004, confirme également ce dispositif, précise les responsabilités des acteurs et définit les exigences minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen d'une longueur supérieure à 500 mètres.

## Fascicule 3

# Les analyses des risques liés au transport des marchandises dangereuses <sup>1</sup>

## Introduction

Les accidents impliquant des marchandises dangereuses (notamment toxiques, inflammables, explosives) sont très rares. Mais ils sont susceptibles de provoquer des catastrophes plus importantes en tunnel qu'à l'air libre. C'est pourquoi le choix d'admettre en tunnel les transports de marchandises dangereuses (TMD) ne peut se faire qu'après une évaluation objective des risques.

La démarche adoptée consiste à évaluer les risques pour les personnes (usagers et populations riveraines) à partir de la modélisation des fréquences d'occurrence des accidents et de la gravité de leurs conséquences. Les évaluations des risques se font au moyen d'un logiciel, dit logiciel EQR (pour Evaluation Quantitative des Risques).

Le présent fascicule décrit cette démarche d'une manière simple et opérationnelle. Il présente également les différentes mesures susceptibles de diminuer le risque en tunnel si des TMD doivent l'emprunter : mesures de prévention (visant à réduire la probabilité d'un accident) et de protection (visant à limiter les conséquences si un accident survient néanmoins).

Le lecteur intéressé trouvera dans les annexes des compléments et des justifications sur la démarche adoptée.

Elle a été approuvée par le comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers (CESTR) et continuera de s'appliquer avec la future réglementation en cours de préparation.

---











<sup>1</sup> La directive 2004/54/CE du parlement européen et du conseil en date du 29 avril 2004 prévoit la réalisation d'une analyse des risques. Dans le cadre de la transposition en droit français, cette analyse comprendra l'analyse des risques liés au transport de marchandises dangereuses (TMD) prévue en 3.7 de l'annexe 1 et l'étude spécifique des dangers ESD. C'est par souci de cohérence avec ce texte européen que l'intitulé initial du présent fascicule 3 («les études des risques liés au transport de marchandises dangereuses») a été modifié par rapport à celui figurant dans les précédents fascicules.



# La problématique des transports de marchandises dangereuses (TMD)

## 1.1. Les TMD et leur réglementation générale

En France, le trafic des TMD représente en moyenne 5% du trafic des poids lourds. Il existe **une grande variété de matières dangereuses et de risques** qu'elles entraînent : le tableau ci-dessous montre leur classification internationale ainsi que des exemples d'étiquettes apposées sur les marchandises (d'autres étiquettes sont aussi utilisées pour certaines classes selon les dangers présentés par la marchandise).

	1. Matières et objets explosibles		5.1. Matières comburantes 5.2. Peroxydes organiques
	2. Gaz		6.1 Matières toxiques
	3. Liquides inflammables		6.2 Matières infectieuses
	4.1 Matières solides inflammables, matières autoréactives et matières explosives désensibilisées		7 Matières radioactives
	4.2 Matières sujettes à l'inflammation spontanée		8 Matières corrosives
	4.3 Matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables		9 Matières et objets dangereux divers

### Classification des matières dangereuses et exemples d'étiquettes

Les TMD ont comparativement **moins d'accidents que les autres poids lourds** (meilleure formation des conducteurs et entretien plus soigné des véhicules). La gravité moyenne des accidents est du même ordre (rapport du nombre d'accidents corporels au nombre total d'accidents, rapport du nombre de morts au nombre d'accidents corporels, etc.). Au total il y a donc relativement peu d'accidents impliquant des TMD (de l'ordre de 200 par an en France sur l'ensemble du réseau routier) ; ceux-ci provoquent une dizaine à une vingtaine de décès par an. Il s'agit majoritairement d'accidents de la circulation pour lesquels la marchandise dangereuse n'intervient ni comme cause ni comme facteur aggravant.

Toutefois, même si les accidents impliquant la marchandise dangereuse transportée sont heureusement très rares, un certain nombre de matières sont **susceptibles de produire des accidents très graves** : explosions dues à des gaz ou à des liquides inflammables, incendies violents, rejets de gaz toxiques, etc. En France, en 1997, la collision à un passage à niveau à Port-Sainte-Foy entre un train et un camion citerne transportant des hydrocarbures, a ainsi entraîné la mort de 13 personnes. En Europe occidentale, au cours des dernières décennies, l'accident le plus grave impliquant un transport routier de marchandises dangereuses est celui de Los Alfaques (Espagne), le 12 juillet 1978, qui fit 216 tués à la suite de l'explosion d'un semi-remorque citerne de propylène sur une route longeant un camping.




En raison des dangers présentés par les matières transportées, les TMD font l'objet d'une **réglementation particulière, définie au niveau international**. Celle-ci est constituée par l'ADR<sup>2</sup>, élaboré dans le cadre de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-ONU à Genève). Cet accord international a été rendu obligatoire dans l'Union européenne aussi bien pour les transports à l'intérieur des Etats que pour les transports internationaux. La réglementation française<sup>3</sup> reprend donc l'ADR, dont elle complète et précise certaines prescriptions.

La réglementation attribue à chaque matière un numéro à quatre chiffres, dit «numéro ONU», et établit une classification des marchandises dangereuses selon leurs risques (cf. tableau ci-avant). La réglementation fixe les prescriptions techniques et les règles d'utilisation concernant les contenants (emballages, citernes, conteneurs,...). Elle définit les règles relatives à l'homologation des véhicules, qui sont soumis à des prescriptions spécifiques (circuits électriques, freinage, extincteurs,...) allant au-delà du Code de la route, et le contenu de leur visite technique annuelle. Elle impose des procédures d'expédition (marquage et étiquetage des colis, placardage et signalisation orange des conteneurs, des citernes mobiles, des véhicules, documentation, etc.). La réglementation ADR traite aussi de la formation des intervenants, et notamment des conducteurs routiers, ainsi que de l'organisation des entreprises en matière de sécurité des transports (les entreprises devant, par exemple, faire appel à un conseiller à la sécurité qualifié). Les conditions de chargement et de déchargement sont aussi réglementées, et les obligations de sécurité respectives des intervenants dans la chaîne de transport (transporteur, chargeur, etc.) sont précisées par les textes.

Pour tenir compte, lorsque le contexte l'exige, de l'existence de vulnérabilités locales particulièrement importantes, la réglementation permet **d'établir des interdictions locales sur certains itinéraires**. Conformément au Code de la route, de telles interdictions locales doivent bien entendu être signalées aux usagers. Pour cela, on dispose actuellement des trois signaux routiers ci-dessous.

<sup>2</sup> Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route

<sup>3</sup> Arrêté du 1/6/2001 modifié, dit «arrêté ADR»

	<p><b>B18a</b></p> <p>Accès interdit aux véhicules transportant plus d'une certaine quantité<sup>4</sup> de marchandises explosives ou facilement inflammables et signalés comme tels</p>
	<p><b>B18b</b></p> <p>Accès interdit aux véhicules transportant plus d'une certaine quantité de marchandises susceptibles de polluer les eaux et signalés comme tels</p>
	<p><b>B18c</b></p> <p>Accès interdit aux véhicules transportant des marchandises dangereuses et signalés comme tels</p>

Signaux routiers d'interdiction de tout ou partie des TMD



Exemple de signalétique apposée sur un véhicule de transport de marchandise dangereuse :

- Etiquette verte (gaz)
- Etiquette jaune (matières comburantes peroxydes organiques)
- Plaque orange (N° ONU).

<sup>4</sup> Pour la définition exacte, se reporter à l'article 10 de l'arrêté du 1er juin 2001 modifié, dit «arrêté ADR»

## 1.2. Spécificités des tunnels pour les TMD

Les conséquences des accidents impliquant des marchandises dangereuses peuvent être aggravées en tunnel en raison du confinement de l'ouvrage<sup>5</sup>.

Les **dangers majeurs** susceptibles de provoquer un nombre important de victimes en tunnel, et éventuellement de causer des dégâts sévères à l'infrastructure, sont principalement les suivants :

- Explosions :

Parmi les plus redoutables, on peut citer l'explosion d'une citerne de GPL chauffée par un incendie, suivie d'une boule de feu, ou l'explosion d'un nuage de gaz inflammable libéré par une fuite sur une citerne. De tels phénomènes peuvent entraîner la mort de toutes les personnes présentes dans le tunnel et à ses abords immédiats.

- Relâchements importants de gaz toxique :

Un tel relâchement peut être dû à une brèche sur une citerne contenant un gaz toxique ou un liquide toxique volatil. Il peut entraîner le décès des personnes situées à proximité de la fuite, mais aussi dans les zones où le courant d'air va pousser les gaz, y compris à l'extérieur du tunnel.

- Incendies violents :

L'incendie d'une citerne d'essence, par exemple, produit des quantités considérables de fumées, de gaz toxiques et de chaleur (voir l'annexe C du fascicule 4 sur les études spécifiques de dangers). Selon le type de tunnel, il peut être très difficile de protéger les autres usagers des effets d'un tel incendie et le nombre de victimes peut être important.

L'aggravation des conséquences par rapport à l'air libre justifie donc que l'on se pose la question d'**interdire ou non les TMD en tunnel**.

Mais l'existence d'un itinéraire alternatif entièrement à l'air libre ne peut pas, à elle seule, conduire à interdire un tunnel aux TMD, par exemple pour les raisons suivantes :

- il peut exister sur l'itinéraire alternatif des zones de population dense où certains types d'accidents de TMD sont susceptibles d'avoir des conséquences catastrophiques, l'itinéraire passant par le tunnel traversant au contraire des zones peu habitées,
- l'itinéraire alternatif peut être plus accidentogène que l'itinéraire empruntant le tunnel ; ce dernier peut même avoir été créé, entre autres raisons, pour offrir un itinéraire aux caractéristiques bien meilleures sur le plan de la sécurité routière.

<sup>5</sup> Toutefois, les conséquences des accidents impliquant un certain nombre de marchandises dangereuses (matières corrosives par exemple) ne sont pas aggravées par le confinement.



C'est donc sur une **comparaison des risques entre itinéraires** que doivent se fonder les autorisations et interdictions, totales ou partielles, des TMD en tunnel.

Ces comparaisons sont délicates car :

- les catastrophes en cause ont des probabilités d'occurrence très faibles,
- le nombre de victimes de ces catastrophes est à la fois extrêmement faible en moyenne annuelle (très inférieur au nombre de victimes d'accidents de la route) et susceptible d'être élevé si un accident exceptionnel survient,
- la répartition des victimes entre usagers et riverains varie selon que l'itinéraire est à l'air libre ou en tunnel.

Pour éviter que le passage des TMD ne soit interdit ou autorisé de manière arbitraire, l'emploi de la méthode décrite dans ce fascicule est préconisé.

**Le régime retenu doit pouvoir être signalé** conformément au code de la route. Parmi les panneaux décrits ci-dessus, seuls les panneaux B18a et B18c présentent un intérêt pour les tunnels. Ceci signifie que trois régimes sont aujourd'hui envisageables<sup>6</sup> :

- autorisation à tous les véhicules transportant des marchandises dangereuses (pas de panneau),
- interdiction aux véhicules transportant plus d'une certaine quantité de produits explosifs ou facilement inflammables (panneau B18a),
- interdiction à tous les véhicules transportant des marchandises dangereuses et signalés comme tels (panneau B18c).

Toutefois, si le tunnel fait l'objet d'un contrôle systématique à l'entrée et dispose d'aires de stationnement permettant ce contrôle, une réglementation spécifique à différentes marchandises dangereuses peut être envisagée. Par ailleurs une circulation avec un ou des véhicules d'accompagnement peut éventuellement être organisée.

Si les TMD sont autorisés en tunnel, tout ou partie des dispositions décrites dans le chapitre 5 ci-après peuvent être mises en œuvre afin de diminuer les risques ; certaines de ces dispositions sont obligatoires dans les tunnels nouveaux.

<sup>6</sup> Des travaux sont en cours au niveau CEE-ONU pour pouvoir passer à cinq régimes pour les TMD en tunnel au lieu de trois, et ainsi mieux adapter la réglementation aux risques spécifiques de chaque ouvrage.



# Principes de l'analyse des risques liés au TMD

Rappelons les termes dans lesquels se pose la question pour un tunnel donné :

Est-ce que l'analyse comparative des risques entre l'itinéraire comportant le tunnel d'une part, et un ou plusieurs itinéraires alternatifs d'autre part, conduit à justifier que le passage des TMD dans le tunnel soit autorisé partiellement ou totalement ?

## 2.1. Le modèle d'évaluation quantitative des risques

L'évaluation des risques est réalisée au moyen du modèle d'évaluation quantitative des risques (modèle EQR)<sup>7</sup> développé dans le cadre d'un projet de recherche conjoint de l'OCDE<sup>8</sup> et de l'AIPCR<sup>9</sup> avec une participation financière de l'Union Européenne. Ce modèle étant susceptible d'évolutions, c'est la version agréée par le CETU au moment de l'étude qui doit être utilisée<sup>10</sup>.

Le modèle peut être acquis auprès de l'AIPCR ; cette association, ainsi que le CETU, peuvent indiquer des organismes susceptibles de fournir une assistance technique ou une formation aux utilisateurs. En raison de sa complexité, le modèle doit nécessairement être utilisé par des personnes compétentes en matière d'analyses de risques et formées à son utilisation.

Le modèle EQR **quantifie les deux aspects du risque** : la probabilité d'occurrence des événements et la gravité de leurs conséquences. La gravité peut être exprimée par des pertes de vies humaines, des blessés, la destruction de bâtiments ou ouvrages, des dommages à l'environnement. Bien que le modèle fournisse des éléments sur tous ces aspects, seuls les résultats concernant les décès sont utilisés dans la démarche ici décrite.

Une évaluation complète des risques TMD exigerait l'étude de tous les scénarios d'accident susceptibles de se produire. Elle examinerait donc toutes les conditions météorologiques possibles, tous les types d'accidents possibles avec tous les types de véhicules entièrement ou partiellement chargés, éventuellement en infraction, etc. Une telle évaluation étant totalement irréaliste, des **simplifications** ont été introduites.

<sup>7</sup> Le modèle a été développé et mis au point par l'INERIS (France), WS-Atkins (Royaume Uni) et IRR (Canada)

<sup>8</sup> Organisation de coopération et de développement économiques (site internet : [www.ocde.org](http://www.ocde.org))

<sup>9</sup> Association mondiale de la route (site internet : [www.piarc.org](http://www.piarc.org))

<sup>10</sup> Au moment de la parution du présent fascicule, il s'agit de la version 3.60

Le modèle est basé sur la démarche suivante :

- choix d'un nombre restreint de marchandises dangereuses représentatives,
- choix de quelques scénarios d'accident graves, représentatifs et impliquant ces marchandises, ceux-ci pouvant se produire en n'importe quel point de l'itinéraire,
- détermination des probabilités que ces événements se produisent,
- évaluation des effets de ces scénarios sur les usagers de l'itinéraire et sur les riverains.

L'exploitation la plus simple des résultats effectuée par le modèle consiste, pour chaque scénario d'accident étudié, à multiplier le nombre de morts qu'il entraîne par sa probabilité d'occurrence annuelle, puis à faire la somme pour tous les scénarios : cette moyenne pondérée est appelée «**espérance mathématique**», notée «EM». L'EM représente donc le nombre moyen annuel de décès dus à des accidents faisant intervenir une marchandise dangereuse <sup>11</sup>.

On verra que, dans certains cas, on peut se contenter de la seule EM, mais le modèle fournit aussi des résultats permettant une analyse plus détaillée. Il trace en effet des courbes F/N qui indiquent la fréquence annuelle F d'avoir un accident produisant N décès ou plus. Ces courbes peuvent être obtenues globalement pour l'itinéraire ou par type de marchandise transportée. Elles permettent :

- d'apprécier la part des accidents entraînant de nombreuses victimes sur chaque itinéraire, si besoin pour chaque famille de marchandises dangereuses ;
- de comparer les différentes courbes entre itinéraires, mais cette comparaison n'est vraiment significative que si la différence entre les EM pour chaque itinéraire est significative ; cette comparaison permet d'envisager des restrictions partielles du trafic TMD ;
- d'identifier la contribution à l'EM globale de chaque type de marchandise ou d'accident.

Plus de détails sur le modèle EQR et son utilisation sont fournis en annexe A.

---

<sup>11</sup> L'EM résulte de la sommation de nombreux événements possibles impliquant pour certains peu de morts et pour d'autres des morts très nombreux, mais avec des probabilités d'occurrence beaucoup plus faibles. Deux remarques peuvent être faites :

- deux événements dont l'un fait dix fois plus de morts que l'autre mais avec une probabilité dix fois plus faible ont le même poids dans l'EM ;
- si un événement a une probabilité annuelle de 1/1000, la probabilité d'avoir cet accident reste la même tous les ans, qu'il y ait eu ou non un tel accident l'année précédente. S'il y en a eu un, cela ne veut évidemment pas dire que le suivant ne se produira que dans mille ans. Tout ce qu'on peut affirmer, c'est que sur une durée très longue, le nombre d'accidents de ce type divisé par la durée se rapprochera de 1/1000 (il serait égal à 1/1000 sur une durée infinie).

## 2.2. Une évaluation des risques en deux phases

La méthode part du simple pour aller au compliqué. Elle comporte deux phases, les résultats de la première déterminant l'utilité d'approfondir ou non l'évaluation des risques par la seconde phase. Il existe des cas où même la première phase n'a pas à être faite ; ces cas sont définis dans le paragraphe 2.3.

Dans les deux phases on utilise le même modèle EQR, mais avec une quantité de données plus importante dans la seconde.

### **1ère phase : Evaluation du risque intrinsèque du tunnel et détermination de l'existence ou non d'itinéraires alternatifs**

Cette première phase ne demande qu'un recueil restreint de données (caractéristiques du tunnel et de son trafic et quelques données météorologiques). Le maître d'ouvrage valide ces données et fait réaliser le calcul du **risque intrinsèque du tunnel (RI)** au moyen du modèle EQR.

Si le risque intrinsèque est faible, on considère que le tunnel ne constitue pas un point singulier en matière de risques et n'est donc pas un critère pour le choix du régime TMD de l'itinéraire ; il est alors inutile de pousser plus avant l'analyse des risques TMD dans le tunnel.

Si le risque intrinsèque du tunnel n'est pas faible, on recherche s'il existe un ou plusieurs itinéraires alternatifs pour les TMD. Dans certains cas exceptionnels, il n'en existe pas et l'itinéraire par le tunnel s'impose. L'analyse se concentre dans ce cas sur les mesures à prendre pour limiter le risque (cf. chapitre 5). S'il existe au moins un itinéraire alternatif, on passe à la deuxième phase.

### **2ème phase : Comparaison des itinéraires**

Cette deuxième phase n'est réalisée que si les conclusions de la première phase montrent qu'elle est utile. Elle demande un important recueil de données complémentaires pour caractériser l'itinéraire comportant le tunnel et chacun des itinéraires alternatifs, et nécessite de faire intervenir un bureau d'études spécialisé.

Les résultats du modèle EQR sont tout d'abord examinés sous l'angle de l'espérance mathématique (EM) du nombre de morts. Dans certains cas, ce seul critère suffit à trancher entre les itinéraires ; dans d'autres il faut faire appel à des critères supplémentaires.

## 2.3. Cas où l'analyse des risques est inutile

Si pour une raison ou pour une autre, les TMD ne sont pas susceptibles de passer dans le tunnel, l'analyse des risques n'a pas de raison d'être. A cet égard on rencontre deux cas distincts :

### **Premier cas :**

Un tunnel (existant ou à venir) est situé sur un itinéraire **de toutes façons interdit aux TMD pour des raisons indépendantes du tunnel** ; l'interdiction des TMD en tunnel est alors de fait.

**Second cas :**

A cause d'une réglementation antérieure, un tunnel existant est **déjà interdit aux TMD** et il n'y a aucune volonté de remettre en cause cette interdiction. En toute rigueur les diverses réglementations possibles pourraient être examinées et comparées comme décrit ci-dessus ; toutefois, en l'absence d'une volonté de changement du régime TMD, l'analyse des risques ne présente pas d'intérêt.

**2.4. Place de l'analyse des risques TMD**

Pour un tunnel en projet il est conseillé que le régime TMD soit étudié dès le stade de l'avant-projet sommaire (APS) pour argumenter un choix dès l'amont. Ce choix est à confirmer au stade du projet d'ouvrage d'art (POA, ou selon les cas avant-projet d'ouvrage d'art – APOA), qui doit obligatoirement comporter l'analyse des risques TMD. En effet le choix de certains aménagements (par exemple caniveau à fente continue de recueil des liquides dangereux, dimensionnement de la ventilation, etc.) dépend du régime TMD retenu.

**Avertissement :**

La réalisation de l'analyse des risques liés au TMD doit se baser sur la variante de tunnel finalement retenue à l'issue de la première phase de l'APS.

Même s'il est tentant d'utiliser cette méthode pour comparer des variantes entre elles, cette démarche n'est pas conseillée ; en effet, du fait des simplifications inhérentes à ce type de modélisation, le modèle EQR n'est pas adapté pour une recherche d'optimisation de paramètres, ni pour l'analyse comparative des systèmes de ventilation-désenfumage. En outre, au-delà des limites d'utilisation du modèle, une telle approche serait d'ailleurs très incomplète dans la mesure où elle n'intègre pas les autres facteurs de risques comme l'accidentologie routière et les incendies non liés au TMD.

L'analyse des risques TMD doit être réalisée avant l'étude spécifique des dangers (ESD), de façon que cette dernière puisse s'appuyer sur un choix déjà validé du régime de passage des TMD. En outre, si l'analyse des risques TMD met en évidence que des marchandises dangereuses autres que les hydrocarbures liquides contribuent de manière importante au risque TMD, on doit examiner l'opportunité de prendre en compte dans l'ESD des événements déclenchants mettant en jeu ces marchandises (cf fascicule 4 – études spécifiques de dangers).

L'analyse des risques TMD commence en tout état de cause par une analyse détaillée du trafic TMD du tunnel, actuel ou prévisionnel, diligentée par le maître d'ouvrage.

Il est recommandé au maître d'ouvrage de procéder à la phase 1 le plus tôt possible, ses résultats conditionnant la recherche éventuelle d'un bureau d'études pour la phase 2.

## 2.5. Synthèse

Une analyse des risques liés aux TMD est à faire au moment de l'élaboration du dossier de sécurité ou de sa mise à jour :

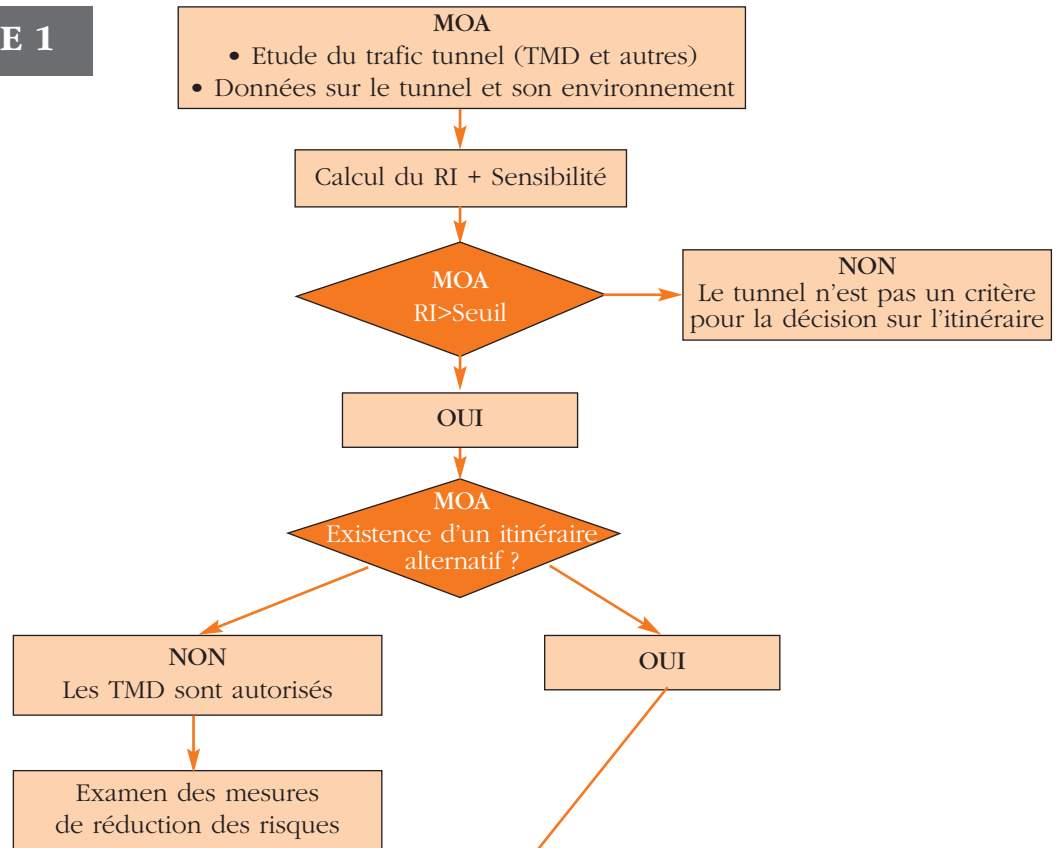
- pour tous les **tunnels nouveaux** de plus de 300 m, sauf si l'itinéraire sur lesquels ils se trouvent est en tout état de cause interdit aux TMD, indépendamment de la présence du tunnel,
- pour les tunnels **en exploitation** de plus de 300 m pour lesquels le passage des TMD est actuellement autorisé, ou pour lesquels il est envisagé qu'il le soit suite à une modification du règlement de circulation.

Dans tous ces cas, la première phase de l'analyse des risques liés aux TMD doit être réalisée. Cette première phase est décrite plus en détail au chapitre 3.

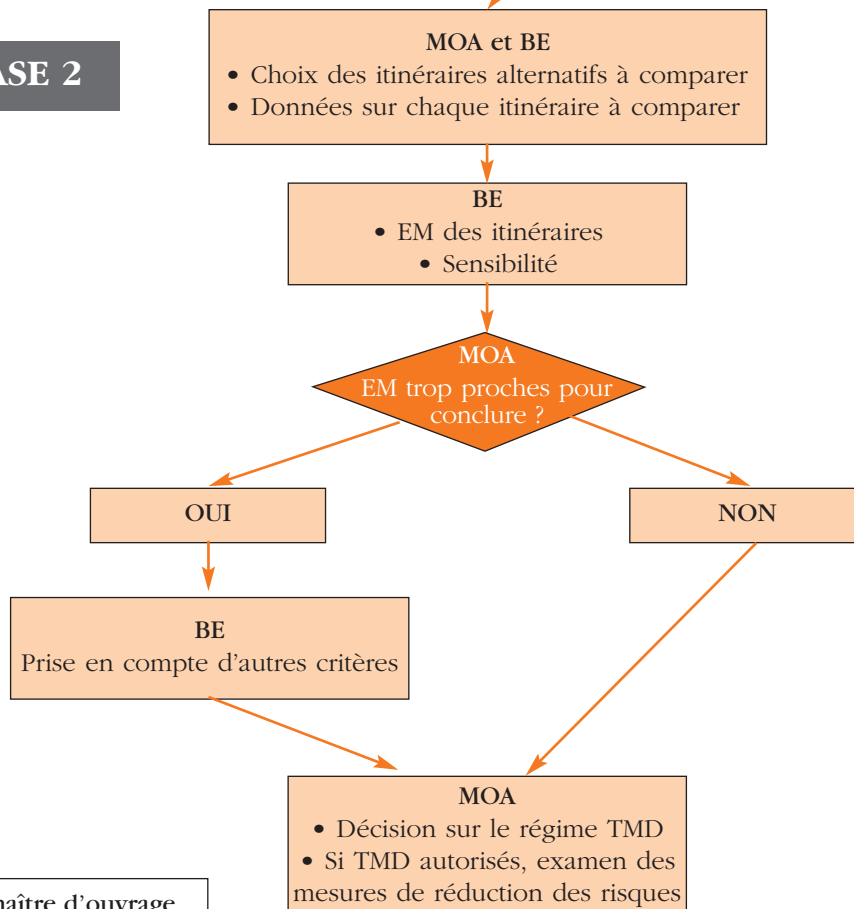
Selon les cas il est nécessaire ou non de procéder ensuite à la seconde phase. Cette seconde phase est décrite au chapitre 4.

On trouvera ci-après un logigramme qui précise les tâches à mener, les intervenants et les décisions à prendre par le maître d'ouvrage.

## PHASE 1



## PHASE 2



MOA : maître d'ouvrage  
BE : bureau d'études  
RI : risque intrinsèque



## Déroulement de la phase 1 (risque intrinsèque et itinéraire alternatif)

Avant toute étude comparative de risques entre itinéraires, il importe de savoir si les enjeux de cette comparaison sont suffisamment importants pour qu'elle soit significative. On procède donc à l'évaluation du **risque intrinsèque** (RI). Celui-ci est l'espérance mathématique (EM) du nombre de morts dus aux accidents impliquant une marchandise dangereuse et survenant dans le tunnel seul, celui-ci étant supposé ouvert aux TMD sans restrictions. Il est calculé au moyen du logiciel EQR.

Le calcul du RI, à partir des données rassemblées et validées par le maître d'ouvrage, est effectué par un organisme compétent qui fournit le résultat au maître d'ouvrage, accompagné d'une étude de sensibilité faisant varier la valeur des paramètres les plus importants. Des informations sur la façon de réaliser le calcul sont disponibles sur demande au CETU.

Le RI est ensuite comparé à un seuil indicatif que le CESTR a fixé à  $1/1000$ <sup>12 13</sup>.

**Si le RI est inférieur à ce seuil**, on considère que le passage des TMD dans le tunnel entraîne des risques faibles dans l'absolu et que l'existence du tunnel n'a pas d'effet sur la réglementation des TMD sur l'itinéraire. On ne procède donc pas à la seconde phase.

Avant de conclure que le RI est inférieur au seuil, le maître d'ouvrage doit examiner les résultats de l'étude de sensibilité. Si la valeur du RI est proche du seuil et si celui-ci est notablement dépassé lorsqu'on fait varier certaines données dans des limites plausibles, il est conseillé au maître d'ouvrage de considérer que le RI n'est pas inférieur au seuil. Ceci lui évitera de voir le seuil dépassé ultérieurement suite à des évolutions du projet ou des augmentations de trafic, avec la nécessité de lancer alors la seconde phase et éventuellement de remettre en cause des choix déjà effectués.

**Si le RI est supérieur au seuil**, deux cas sont à considérer :

- ou bien, dans des cas exceptionnels, le maître d'ouvrage constate qu'il n'y a pas d'itinéraire alternatif et l'autorité en charge de la police de la circulation dans le tunnel le confirme ; on ne procède pas à la seconde phase, mais il convient d'étudier les mesures susceptibles de réduire les risques dans le tunnel (voir chapitre 5), puisque les TMD doivent alors nécessairement y passer ;
- ou bien il existe un ou plusieurs itinéraires alternatifs ; on poursuit alors l'étude par la phase 2.

<sup>12</sup> Il ne s'agit pas d'un seuil fixé dans l'absolu, mais il résulte de l'examen d'une vingtaine de tunnels ayant fait l'objet d'une analyse comparative de risques. Sa valeur est liée à la modélisation retenue dans le modèle EQR.

<sup>13</sup> Des tunnels successifs sur un trajet peuvent se trouver liés en termes d'interdiction ou non aux TMD, s'il n'y a pas de possibilité de quitter l'itinéraire entre les tunnels. Dans ce cas on peut se trouver dans la situation où chaque tunnel a un risque intrinsèque inférieur au seuil, mais où la somme de leurs risques intrinsèques est supérieure au seuil. C'est cette somme qu'il faudra alors considérer.



## Déroulement de la phase 2 (comparaison des itinéraires)

Cette deuxième phase se subdivise elle-même en deux étapes, l'une où l'on ne fait appel qu'au critère de l'espérance mathématique du nombre de morts (EM – cf. § 2.1 ci-avant), l'autre qui est réalisée uniquement si le critère de l'EM n'est pas discriminant. Dans ce dernier cas, on fait appel à d'autres critères, complémentaires, pour éclairer la prise de décision.

### 4.1. 1ère étape : Comparaison des EM

#### a) Définition des itinéraires alternatifs à étudier

Le maître d'ouvrage doit tout d'abord définir, en liaison avec le bureau d'études, les itinéraires alternatifs à étudier, en se limitant à **trois itinéraires alternatifs au maximum et en privilégiant les itinéraires les plus proches**.

Il peut s'avérer nécessaire de distinguer des itinéraires alternatifs différents selon les couples origine – destination des TMD, ce qui suppose que ceux-ci ont été préalablement recensés dans l'étude du trafic TMD.

Il ne sera considéré sur les itinéraires alternatifs que les TMD qui y seraient reportés en cas d'interdiction du tunnel. Les TMD circulant en tout état de cause sur les itinéraires alternatifs, que le tunnel leur soit autorisé ou non, ne doivent pas être pris en compte.

On trouvera en annexe B des indications plus précises sur la méthodologie de définition des itinéraires alternatifs et sa justification, ainsi qu'un exemple concret d'application.

#### b) Recueil des données et utilisation du modèle EQR

L'annexe A précise les **données** qui doivent être rassemblées par le maître d'ouvrage et le bureau d'études sur chacun des itinéraires, ainsi que les principes d'utilisation de ces données par le bureau d'études. Celui-ci fait ensuite fonctionner le modèle EQR pour chaque itinéraire.

Les hypothèses et les techniques de modélisation des phénomènes mis en jeu par le logiciel d'une part, et les incertitudes sur les données d'entrée d'autre part, doivent inciter à considérer les résultats avec prudence, et à tester leur robustesse par des **analyses de sensibilité** sur les paramètres d'entrée du modèle. Dans la première étape, seuls les résultats en termes d'espérance mathématique sont pris en compte.

### c) Le critère de l'EM est-il discriminant ?

Compte tenu des analyses de sensibilité déjà réalisées par les concepteurs du modèle, on distinguera les cas suivants pour décider si l'écart entre les EM des itinéraires pris deux à deux est significatif ou non :

- **Le rapport des EM est supérieur à 10** : on considèrera alors systématiquement qu'il existe une différence significative d'EM entre les itinéraires, ce qui permet de prendre une décision sans recourir à d'autres critères.
- **Le rapport des EM des itinéraires est inférieur à 3** : dans ce cas, la différence d'EM entre les itinéraires sera systématiquement considérée comme non significative et il faudra faire appel à d'autres critères (voir 2ème étape ci-dessous).
- **Le rapport des EM est inférieur à 10 et supérieur à 3** : on considèrera que la différence d'EM entre les itinéraires est significative seulement si l'étude de sensibilité met en évidence des situations jugées plausibles où l'écart d'EM devient supérieur à dix et n'en met en évidence aucune où il devient inférieur à trois.

Il pourra par ailleurs parfois être jugé nécessaire par le maître d'ouvrage de compléter la comparaison des EM en étudiant les conséquences de mesures susceptibles de réduire le risque TMD en tunnel (voir chapitre 5) au delà de ce qui a été pris en compte dans le calcul EQR.

## 4.2. 2ème étape : Prise en compte d'autres critères

Comme indiqué ci-dessus, le recours à d'autres critères ne se fait que si l'écart des EM n'est pas significatif. Ces critères sont, pour les principaux (liste non hiérarchisée) :

- «l'aversion au risque» du décideur (a),
- les accidents de TMD n'impliquant pas la matière dangereuse (b),
- la vulnérabilité des itinéraires à un accident TMD en termes environnementaux et économiques (c),
- les implications économiques de la décision (d).

### a) L'aversion au risque

Si la seule comparaison des espérances mathématiques du nombre de morts dus aux marchandises dangereuses sur chaque itinéraire (EM) ne permet pas de conclure, on prendra tout d'abord en compte le fait que le décideur peut, tout comme l'opinion publique, **accorder plus de poids à un événement qui fait dix fois plus de morts même s'il est dix fois moins probable** ; c'est ce que l'on appelle «l'aversion au risque».

Pour l'analyse de l'aversion au risque, le plus parlant est de considérer le poids relatif des événements les plus graves dans l'EM, grâce à une visualisation graphique appropriée (voir annexe A). Pour une discussion plus complète sur la notion d'aversion au risque et les différentes modalités possibles de sa prise en compte, voir annexe D.

## b) Les accidents de TMD n'impliquant pas la matière dangereuse

L'interdiction d'un tunnel au passage des TMD entraîne celle de tout un itinéraire. Mais elle se fait au nom des catastrophes qui peuvent se produire en tunnel à la suite d'un accident où la matière dangereuse a été libérée (accident dit de type «M»). Dans le logiciel EQR, la comparaison des itinéraires ne prend ainsi pas en compte le fait que les TMD entraînent par ailleurs, sur l'un ou l'autre des itinéraires, d'éventuels risques d'accidents de la route au cours desquels la matière dangereuse transportée n'est pas libérée (accident dit de type «C»).

Si le modèle EQR incluait les morts par accident de type C, ces derniers, de probabilités plus élevées, auraient souvent un poids prépondérant dans les EM des itinéraires que l'on compare (voir annexe C). Le fait d'exclure les accidents de type C du calcul des EM traduit déjà une prise en compte de l'aversion au risque, puisque seuls les événements potentiellement les plus graves sont considérés.

Lorsque la comparaison des EM (qui ne s'intéresse donc qu'aux seuls accidents de type M) ne permet pas de conclure, les accidents de type C constituent un critère complémentaire. A cette fin, le bureau d'études évaluera pour chaque itinéraire l'**espérance mathématique**, ou nombre moyen annuel de morts, **des accidents de type C** (accidents de la circulation où un TMD est impliqué, sans que la matière dangereuse soit libérée).

## c) La vulnérabilité des itinéraires vis à vis des accidents de TMD

L'analyse a jusqu'ici considéré uniquement les conséquences sur les personnes. La prise en compte de la vulnérabilité conduit ici à recueillir et synthétiser, pour chacun des itinéraires étudiés, des indications relatives notamment :

- à la présence de sites naturels (notamment les cours d'eau) susceptibles d'être concernés par une pollution accidentelle en cas de déversement de matière dangereuse ;
- à la présence d'ouvrages (ponts, tunnels), de bâtiments (monuments historiques), de sites industriels, etc., susceptibles de subir des dégâts lors d'un accident de TMD ;
- aux contraintes qui apparaîtraient en cas de fermeture prolongée des tunnels situés sur les différents itinéraires étudiés (longueur et durée du détour imposé, conséquences économiques locales, etc.) ;
- aux contraintes relatives à la viabilité, notamment hivernale (neige, verglas), des différents itinéraires, et aux risques naturels (inondation, avalanches, chutes de pierre, glissements de terrain, feux de forêts, etc.) qui peuvent les affecter ;
- à la proximité des services de secours.

Cette liste n'est pas exhaustive.

**d) Les implications économiques de la décision**

Indépendamment des risques liés aux accidents, qui font l'objet de tous les critères précédents, la décision d'autorisation ou d'interdiction aux TMD a des implications à caractère économique tant pour le maître d'ouvrage que pour les transporteurs et chargeurs. Si la comparaison des EM ne permet pas de conclure, il convient d'évaluer ces impacts, notamment :

- les coûts supplémentaires d'investissement et d'exploitation du tunnel induits par l'autorisation des TMD,
- l'impact sur l'environnement de la circulation des TMD sur tel ou tel itinéraire (indépendamment d'éventuels accidents, examinés au point c précédent),
- la gêne et les surcoûts imposés aux chargeurs et transporteurs par des mesures d'interdiction.

La comparaison des différents itinéraires au regard de ces autres critères peut ainsi éclairer la décision à prendre lorsque les EM ne permettent pas à elles seules de conclure.

## Mesures permettant de réduire le risque TMD en tunnel

Dans les tunnels nouveaux où les TMD sont autorisés, des dispositions particulières figurent dans l'instruction technique (IT) jointe en annexe 2 de la circulaire n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national.

En tout état de cause, dans tous les tunnels où les TMD sont admis, le maître d'ouvrage doit s'interroger sur la mise en œuvre éventuelle de mesures destinées à réduire les risques dans le tunnel : mesures concernant l'infrastructure (génie civil, équipements) et son exploitation présentes dans l'instruction technique et qui ne seraient pas déjà en œuvre, interdiction de certaines catégories de marchandises dangereuses, passages en convois, restrictions horaires. Ces mesures sont examinées dans les paragraphes suivants <sup>15</sup>.

Il convient de noter que si le tunnel est interdit aux TMD, **cette interdiction doit faire l'objet de contrôles** pour assurer son respect. Dans le cas contraire, on risque de se trouver dans une situation potentiellement très dangereuse où certains TMD circulent alors qu'aucune disposition technique ou d'exploitation n'est prise pour faire face à un éventuel accident les impliquant.

### 5.1. Mesures concernant le tunnel et son exploitation

Les moyens d'action concernant le tunnel, ses équipements et son exploitation sont décrits dans le chapitre 7 de l'instruction technique :

- géométrie du tunnel prévenant les accidents en général et le poinçonnement des citernes en particulier,
- amélioration de l'assainissement avec une pente transversale suffisante et des caniveaux à fente continue permettant de limiter la surface et la durée de présence d'une flaque de liquides inflammables ou toxiques,
- issues de secours plus rapprochées, afin de favoriser l'évacuation des usagers et l'accès des secours,
- dimensionnement de la ventilation pour des incendies de puissance supérieure à 30 MW,
- renforcement des équipements de détection des incendies, de communication avec les usagers, de signalisation, de fermeture du tunnel, de lutte contre l'incendie, etc.,
- renforcement de l'exploitation.

<sup>15</sup> L'efficacité de ces mesures est, au moins en partie, prise en compte dans le modèle EQR.

L'instruction technique ne s'applique de façon obligatoire qu'aux tunnels nouveaux, et laisse pour ceux-ci une marge d'appréciation pour un certain nombre des mesures précédentes selon **le caractère plus ou moins sensible du tunnel**. La même notion de sensibilité du tunnel peut être utilisée pour analyser le cas d'un tunnel existant.

En plus des critères figurant dans l'instruction technique (§ 7.1), le caractère sensible du tunnel pourra être apprécié en utilisant les résultats de l'analyse de risques TMD, notamment ceux de la phase 1 qui caractérise le risque intrinsèque du tunnel. Ces résultats permettent d'apprécier la part de risque correspondant aux différents scénarios d'accident et l'ordre de grandeur de leur importance.

## 5.2. Interdiction de certaines catégories de marchandises dangereuses

Si la phase 2 a mis en évidence que globalement l'itinéraire tunnel est le plus sûr, mais que certains TMD présentent plus de risques sur celui-ci, on peut rechercher un régime d'interdiction qui les éliminerait de manière sélective. On vise ainsi à diminuer le risque global sur l'ensemble des itinéraires.

A contrario, si l'itinéraire tunnel est globalement moins sûr, mais que certains TMD présentent plus de risques sur l'itinéraire alternatif, on peut rechercher un régime d'interdiction n'éliminant pas ceux-ci.

Des optimisations fines, TMD par TMD, se heurtent actuellement au fait que, comme on l'a vu, la réglementation, en dehors du tout ou rien, permet seulement d'interdire deux regroupements de TMD correspondant aux panneaux B 18a «produits explosifs ou facilement inflammables» et B 18b «produits de nature à polluer les eaux» (voir 1.1).

Si le B 18b présente peu d'intérêt dans le cas des tunnels, **l'analyse de l'interdiction partielle B 18a** est en revanche **recommandée**. Il revient au maître d'ouvrage de décider de faire procéder ou non à cette analyse en fonction du contexte.

L'évolution de la réglementation vers cinq groupes de TMD, qui pourrait entrer en vigueur à partir de 2007, avec les signaux routiers correspondants, renforcera l'intérêt des mesures d'interdictions partielles.

## 5.3. Passage en convois avec accompagnement

Dans les grands tunnels, notamment bidirectionnels, disposant à chaque entrée de barrières de péage ou de facilités de contrôle des véhicules, il peut être prévu que tout ou partie des TMD fasse l'objet d'un accompagnement pour la traversée du tunnel. Ces véhicules sont alors regroupés en convois.

Malgré la possibilité d'un effet domino à l'intérieur du tunnel, l'efficacité du passage avec accompagnement est indéniable pour accroître la sécurité. Elle est plus grande encore si les autres trafics sont interdits pendant que les convois de TMD circulent.



La quantification de cette amélioration requiert encore de nombreuses hypothèses mal connues (diminution des taux d'accident et d'incident, des probabilités des catastrophes induites), et nécessiterait en principe d'adapter la structure même du logiciel EQR, conçu pour un trafic continu (pour une discussion plus approfondie, voir annexe E).

La mise en œuvre des passages avec accompagnement nécessite une aire de parking de véhicules et la disponibilité de personnels d'accompagnement, conditions peu souvent réunies.

**Un point essentiel est la sécurisation de cette aire d'attente pour les TMD destinés à être intégrés dans un convoi.**

## 5.4. Restrictions horaires

Le modèle EQR permet de distinguer des périodes différentes, et ainsi de voir si, pour certaines périodes, la comparaison du risque des itinéraires s'inverse, ce qui peut permettre d'envisager des restrictions horaires et de les optimiser<sup>16</sup>.

Une telle optimisation n'aboutit à des effets significatifs que si les écarts de risques entre le tunnel et l'air libre sont très différents selon que l'on est ou non en période de pointe de trafic. Ceci peut se produire si une forte pointe de trafic correspond à une faible présence de riverains et vice versa.

On ne trouve en général d'intérêt à une restriction horaire qu'en interdisant le tunnel toute la journée, et pas seulement aux heures de pointe (pour une discussion détaillée voir annexe E). Comme pour les passages avec accompagnement, il faut pouvoir disposer d'une aire de parking et la sécuriser.

**Il revient au maître d'ouvrage d'apprécier s'il convient de faire analyser d'éventuelles restrictions horaires au moyen du modèle EQR.**

---

<sup>16</sup> Pour bien apprécier l'effet de telles mesures, il faut savoir ce que font les TMD pendant la période d'interdiction : utilisation d'itinéraires alternatifs ou décalage de leurs horaires pour pouvoir utiliser le tunnel. Mais il est en fait souvent difficile d'anticiper leur stratégie d'adaptation.



# Annexes

- Annexe A** ■ **Présentation du modèle EQR**
  - A.1. Le projet de recherche conjoint de l'OCDE et de l'AIPCR
  - A.2. Utilisation du modèle dans le cadre de la démarche retenue en France
  - A.3. Déroulement de la modélisation dans le cadre d'une comparaison d'itinéraires
  - A.4. Les résultats de leur interprétation
  
- Annexe B** ■ **Le choix des itinéraires alternatifs**
  
- Annexe C** ■ **Comparaison des risques «C» et «M»**
  
- Annexe D** ■ **L'aversion au risque**
  - D.1. Les différents niveaux de l'aversion au risque
  - D.2. Le choix des accidents de type «M» ou l'aversion implicite
  - D.3. Les autres aspects de l'aversion au risque
  - D.4. Les remises en cause des politiques vis à vis du risque
  
- Annexe E** ■ **Efficacité et prise en compte des mesures permettant de réduire les risques TMD**
  - E.1. Les passages en convoi avec escorte
  - E.2. Les restrictions horaires



# Présentation du modèle EQR

## A.1 Le projet de recherche conjoint de l'OCDE et de l'AIPCR

### A.1.1. Rappel du contexte général

Un des objectifs du projet de recherche conjoint de l'OCDE et de l'AIPCR était de fournir un modèle d'évaluation quantitative du risque (EQR) permettant, comme son nom l'indique de quantifier le risque relatif au transport de marchandises dangereuses pour un itinéraire comportant ou non un tunnel en prenant en compte les deux aspects :

- probabilité d'occurrence des événements,
- gravité de leurs conséquences,
  - en pertes de vies humaines, en distinguant éventuellement la population locale et les usagers de la route ;
  - en blessés, en distinguant éventuellement la population locale et les usagers de la route ;
  - en dommages : destruction de bâtiments ou ouvrages, dommages à l'environnement.

La réglementation du passage des véhicules transportant des marchandises dangereuses peut prendre en compte un ou plusieurs critères d'évaluation ou de comparaison du risque. Différents critères de choix existent selon les pays. Les principales sont :

- l'évaluation du risque par rapport à un (ou plusieurs) seuil(s) de risque fixé(s) préalablement par la réglementation : on peut trouver toutes sortes de critères tels que l'espérance mathématique du risque, une ou plusieurs courbes F-N seuil, le nombre maximal de décès, etc.,
- la comparaison entre un ou plusieurs itinéraires permettant de retenir l'itinéraire le plus favorable en terme de risques selon des critères prédéfinis,
- une combinaison des deux familles de critères précédentes.

Le modèle EQR évalue plusieurs composantes du risque permettant ensuite d'appliquer l'une ou l'autre de ces familles de critères. Les possibilités du modèle EQR sont nombreuses. Il est nécessaire de bien identifier le cadre méthodologique (et donc les critères) dans lequel il est utilisé, afin de bien interpréter les résultats fournis par le modèle.

Le projet de recherche donne également la possibilité de coupler le modèle EQR à un modèle d'aide à la décision<sup>1</sup> (MAD) permettant, sur la base des résultats fournis par le modèle EQR, de proposer la réglementation la mieux adaptée : cette proposition est établie par le biais d'un calcul (il est possible de pondérer ou de corrélérer différents critères) puis d'une comparaison (selon plusieurs méthodologies de choix prédéfinies). Le MAD est encore au stade exploratoire et n'est pas utilisé en pratique.

<sup>1</sup> Le modèle d'aide à la décision (MAD) n'est pas utilisé en France.

## A.1.2. Un modèle basé sur des scénarios d'accidents représentatifs

L'ADR répertorie plusieurs milliers de marchandises. De ce fait, et dans le souci de ne pas conduire à une démarche trop lourde eu égard au niveau de précision qu'il est possible d'atteindre avec ce type de modèle, un travail de sélection d'événements représentatifs des risques principaux liés aux marchandises transportées a été opéré.

Le modèle EQR se limite ainsi à un certain nombre de couples matières dangereuses -conditionnements, combinés à quelques types d'accidents auxquels ils peuvent donner lieu. Ceci donne, dans la dernière version 3.60, treize scénarios de base, jugés représentatifs des événements entraînant de nombreuses victimes même si l'ensemble des accidents possibles n'est pas modélisé avec exactitude.

Tableau 1 : Liste des scénarios inclus dans la version 3.60 du modèle EQR

Scénario N°	Description	Capacité	Taille de brèche (mm)	Débit massique (kg/s)
1	Feu de PL - 20 MW (pas de matière dangereuse)	-	-	-
2	Feu de PL - 100 MW (pas de matière dangereuse)	-	-	-
3	BLEVE <sup>2</sup> d'une bouteille de 50 kg de GPL	50 kg	-	-
4	Feu de nappe de supercarburant	28 tonnes	100	20,6
5	VCE <sup>3</sup> de supercarburant	28 tonnes	100	20,6
6	Rejet de chlore <sup>4</sup>	20 tonnes	50	45
7	BLEVE d'une citerne de GPL	18 tonnes	-	-
8	VCE de GPL	18 tonnes	50	36
9	Feu torche sur une citerne de GPL	18 tonnes	50	36
10	Rejet d'ammoniac	20 tonnes	50	36
11	Rejet d'acroléine en citerne	25 tonnes	100	24,8
12	Rejet d'acroléine en bouteille	100 litres	4	0,02
13	BLEVE de gaz non inflammable (CO <sub>2</sub> )	20 tonnes	-	-

<sup>2</sup> BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion

<sup>3</sup> VCE : Vapour Cloud Explosion

<sup>4</sup> Le scénario de rejet de Chlore n'est pas à utiliser, cette matière n'étant pas transportée en citerne sur route en France.

Parmi ces treize scénarios, deux concernent des incendies sans matière dangereuse, donnés à titre indicatif<sup>5</sup>. La version 3.60 comporte par ailleurs trois scénarios optionnels relatifs à des substances radioactives. Ceux-ci ne sont à utiliser que dans des circonstances exceptionnelles (proximité d'une installation impliquant de nombreux transports de substances radioactives par exemple).

Les scénarios précisent dans chaque cas le débit de fuite de matière dangereuse qu'ils entraînent. Mais ils se déclinent ensuite selon un certain nombre de circonstances particulières examinées (météorologie par exemple), d'où un très grand nombre de situations finalement considérées.

Scénarios optionnels (généralement non pertinents)				
Scénario N°	Description	Capacité	Taille de brèche (mm)	Débit massique (kg/s)
14	Rejet d'UF <sub>6</sub> naturel	9 471 kg	50	360
15	Rejet d'UF <sub>6</sub> enrichi	1 743 kg	50	360
16	Source radioactive (gammagraphe)	-	-	-

Si pour des marchandises présentant des caractéristiques voisines (par exemple : n° ONU 1299 (Essence de térébenthine) et n° ONU 1300 (Succédané d'essence de térébenthine)) l'hypothèse de regroupement en scénarios représentatifs de nombre limité n'est pas gênante, elle peut être critiquable lorsqu'on admet que des marchandises dangereuses présentant des caractéristiques sensiblement différentes sont associées à un même scénario représentatif du modèle EQR. A titre d'exemple, on associe fréquemment le transport en citerne de gazole au transport en citerne d'essence qui a été retenu dans le modèle EQR.

Le choix des scénarios représentatifs doit donc être basé sur une comparaison entre les effets possibles causés par la marchandise constatée sur l'itinéraire et ceux causés par la ou les marchandises retenues dans les scénarios représentatifs du modèle EQR. On retient finalement le ou les scénarios qui sont les mieux adaptés. La comparaison entre itinéraire permet, dans une certaine mesure, de travailler en valeur relative et donc de compenser les «approximations» sur l'évaluation exacte du risque.

Toutefois, si l'objectif est bien de se rapprocher au mieux du risque réel, la modélisation s'en éloigne nécessairement pour deux principales raisons : d'une part, le trafic TMD pris en compte n'est pas forcément le trafic réel puisque l'on ne prend en compte que le trafic habituel susceptible de se reporter sur d'autres itinéraires et d'autre part, les marchandises dangereuses constatées sur l'itinéraire ne sont pas toujours les mêmes que celles associées aux scénarios représentatifs du modèle EQR. Cela dit, on peut dire que le risque évalué est en général surestimé comme dans le cas précédemment évoqué de la citerne de gazole.

<sup>5</sup> Ces deux premiers scénarios du modèle EQR, qui concernent des feux de PL sans MD, ne sont évidemment pas à prendre en compte par les études de risques liés au transport des marchandises dangereuses. Le rapprochement de leurs résultats avec ceux de l'ESD pourrait a priori être intéressant, mais les scénarios standardisés de l'ESD utilisent des puissances d'incendie différentes.

En résumé, il convient de retenir que :

- l'évaluation quantitative des risques est basée sur une simplification consistant à utiliser des couples «marchandises dangereuses/scénarios d'accidents» représentatifs ; toutes les marchandises dangereuses recensées sur l'itinéraire sont associées à l'un (ou plusieurs) de ces couples représentatifs ;
- l'association marchandise habituellement constatée/couple(s) représentatif(s) est une étape qui demande une bonne connaissance des caractéristiques des marchandises et une bonne connaissance du modèle ;
- le risque évalué par le modèle EQR est étroitement lié à la méthode utilisée. Il n'est sans doute pas égal au risque réel, mais il est évalué de façon aussi proche que possible du risque réel et il permet a minima, de réaliser des comparaisons pertinentes entre itinéraires.

## **A.2. Utilisation du modèle dans le cadre de la démarche retenue en France**

La démarche retenue en France ne prend en considération que les résultats du modèle en terme de décès. Elle se décompose en deux phases, utilisant chacune le modèle EQR ; les résultats de la première phase déterminent l'utilité d'approfondir ou non l'évaluation des risques par la seconde phase à savoir la comparaison d'itinéraires. La première phase est une analyse simplifiée visant à évaluer sommairement les enjeux, tandis que la seconde propose une analyse complète permettant effectivement de comparer des itinéraires.

### **A.2.1 Utilisation du modèle dans le cadre du calcul du risque intrinsèque (RI) (cf. § 3 Déroulement de la phase 1)**

La modélisation au moyen du modèle EQR est réduite et ne vise qu'à évaluer les risques directement induits par la présence du tunnel.

Elle ne prend en compte qu'un seul itinéraire constitué du seul tunnel : l'origine et la destination de l'itinéraire étudié sont donc les têtes de l'ouvrage.

Le recueil des données d'entrée est simplifié dans la mesure où :

- l'aire d'étude est limitée aux alentours de l'ouvrage (la population riveraine n'est prise en compte qu'autour des têtes),
- les données de trafic (et a priori l'accidentologie) ne varient pas le long de ce court itinéraire.

Le calcul du RI ne fait donc appel qu'à une petite partie des possibilités du modèle et ne nécessite que les données du tunnel seul.

Pour plus de détail se reporter au guide méthodologique pour le calcul du risque intrinsèque disponible au CETU.



## A.2.2. Utilisation du modèle dans le cadre d'une comparaison d'itinéraires (cf. § 4 Déroulement de la phase 2)

La modélisation au moyen du modèle EQR est dans ce cas plus compliquée dans la mesure où l'étude prend en compte plusieurs itinéraires présentant un ou plusieurs tunnels.

Le recueil des données d'entrées est d'autant plus important que l'aire d'étude est grande et complexe. Au delà des données qui auront déjà été définies pour le calcul du RI, des données complémentaires sont à rechercher. Une partie d'entre elles peut être éventuellement collectée par le bureau d'études réalisant la comparaison d'itinéraires.

Le paragraphe suivant de la présente annexe est consacré à ce deuxième type d'utilisation.

## A.3. Déroulement de la modélisation dans le cadre d'une comparaison d'itinéraires

La démarche de modélisation comporte 5 étapes. Le maître d'ouvrage et (ou) l'exploitant sont plus particulièrement impliqués dans les étapes 1, 2 et 5.

- Étape 1 : Recueil des données nécessaires à la modélisation ;
- Étape 2 : Choix du paramétrage (choix des scénarios, découpage des itinéraires en tronçons homogènes et choix des périodes de temps à considérer) ;
- Étape 3 : Calcul ;
- Étape 4 : Etude de sensibilité ;
- Étape 5 : Interprétation des résultats et conclusion.

### A.3.1. Étape 1 : Recueil des données nécessaires à la modélisation

L'évaluation quantitative des risques liés au transport des marchandises dangereuses est avant tout basée sur le recueil d'un certain nombre de données nécessaires à l'utilisation du modèle EQR :

- pour l'itinéraire étudié : définition, pour chaque sens de circulation, de la géométrie de l'itinéraire en coordonnées Lambert, établie sur la base du tracé en plan, et du profil en long de l'itinéraire,
- pour le tunnel<sup>6</sup> : longueur, pente, dévers, section, diamètre hydraulique, localisation des issues de secours, caractéristiques du système de recueil des effluents liquides, performances de la ventilation et du désenfumage, niveau de surveillance, etc.

---

<sup>6</sup> A ce stade, il est important de préciser que, pour le modèle, un tube correspond à un tronçon du modèle, et qu'un tunnel ne peut et ne doit être subdivisé en plusieurs tronçons, sous peine d'obtenir des résultats erronés. A ce titre, il est primordial de se référer au chapitre 9 du guide de l'utilisateur du logiciel EQR avant toute description d'un tunnel dans le modèle.

- pour le trafic :
  - concernant les VL, PL et autocars : volume de trafic, y compris les variations<sup>7</sup> saisonnières ou journalières, etc.,
  - concernant les TMD : nature, volume y compris les variations saisonnières ou journalières, origine-destination, etc. ; seul le trafic TMD susceptible de se reporter sur le ou les autres itinéraires étudiés est pris en compte,
- pour les conditions de circulation : vitesse limite, vitesses pratiquées par les différentes catégories d'usagers, risques de congestion, accidentologie, implication des PL, etc.,
- pour la surveillance et l'exploitation de l'itinéraire : description des moyens de surveillance et des équipements de gestion du trafic, évaluation des délais de fermeture, etc.,
- pour la météorologie : rose des vents,
- pour la population : description de la densité de population dans une bande de 1 000 m autour des itinéraires étudiés ; (il s'agit de la population résidente, mais aussi le cas échéant, de la population active, de la fréquentation des établissements recevant du public...).

L'évaluation quantitative des risques est d'autant plus représentative que le recueil des données est précis et complet.

Certaines de ces données sont directement disponibles auprès du maître d'ouvrage ou de l'exploitant, d'autres nécessitent un recueil complémentaire plus ou moins complexe en fonction de l'environnement local. Certains recueils peuvent bien sûr être sous-traités.

Par manque d'informations disponibles, certaines données pourtant essentielles peuvent s'avérer difficiles à obtenir avec une précision suffisante (accidentologie mesurée sur une durée insuffisante par exemple, ou non encore connue sur un tunnel en projet). Dans ce cas, le modèle permet d'utiliser des valeurs par défaut permettant malgré tout de poursuivre le processus. L'étude de sensibilité aux différents paramètres permet ensuite d'évaluer la sensibilité et la représentativité du résultat.

En revanche, la fourniture des données de description de l'itinéraire (y compris le tunnel) et des données de trafic est quant à elle incontournable pour permettre la réalisation du calcul.

Enfin, il est important de noter que le niveau de détail des données recueillies peut s'avérer notablement différent d'un itinéraire à l'autre (par exemple en ce qui concerne les données d'accident lorsque l'un des itinéraires étudiés est un itinéraire autoroutier et que l'autre itinéraire est situé sur le réseau secondaire et de surcroît peu circulé). Dans ce cas, on s'attachera à retenir un niveau de description le plus

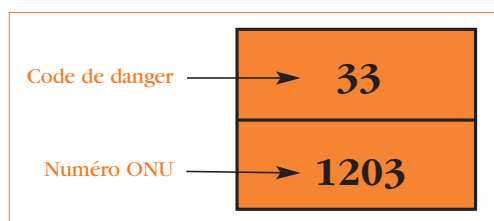
<sup>7</sup> Jusqu'à trois périodes de temps peuvent être définies. Il est à ce titre recommandé de retenir le nombre maximal de périodes de temps possible, et de conserver le même nombre de périodes de temps pour chacun des itinéraires étudiés. On privilégiera bien sûr les variations journalières ou saisonnières les plus sensibles, en cohérence avec les variations de populations constatées dans le voisinage de l'itinéraire.

homogène possible entre les itinéraires, de manière à ne pas introduire un biais dans la comparaison. Quoi qu'il en soit, si des données non homogènes correspondent à un paramètre jouant au premier ordre sur les résultats produits, l'étude de sensibilité menée devra être plus particulièrement détaillée sur ce point.

### Cas particulier du recueil des données de trafic TMD

Sur route, les TMD sont identifiables au moyen d'une plaque orange placée à l'avant et à l'arrière du véhicule. Celle-ci comporte normalement deux nombres. Lorsqu'ils sont présents, les deux nombres en question sont (voir également la figure ci-dessous) :

- le code de danger (nombre à 2 ou 3 chiffres),
- le numéro ONU (nombre à 4 chiffres).



Dans tous les cas, le code de danger et le numéro ONU doivent être relevés, à l'avant ou à l'arrière de la citerne.

Lorsque la plaque située à l'avant ou à l'arrière du véhicule est vierge de tout nombre, alors :

- soit il peut s'agir d'un camion composé de plusieurs citernes (ou de plusieurs compartiments au sein d'une même citerne), et alors plusieurs plaques avec des codes de dangers et numéros ONU sont apposées sur le côté du PL. Cette situation n'est en général rencontrée que sur une petite minorité de TMD. Dans ce cas, il importe de noter si toutes les MD comportent le même code de danger (par exemple 33), ou si elles comportent des codes de dangers différents (par exemple 30 et 33). Ces informations permettent de mieux choisir les scénarios représentatifs à retenir ;
- soit il peut s'agir d'un camion bâché. Dans ce cas, il est souvent difficile d'identifier de l'extérieur les marchandises transportées, généralement en petits conditionnements (peintures, liquides inflammables en emballages, etc.). Il s'avère que ces transports sont en général minoritaires dans le trafic et que, sauf cas particuliers, en première approximation, ils peuvent ne pas être pris en considération dans la détermination des scénarios ;
- soit il peut s'agir de transports de bouteilles. Dans ce cas, les étiquettes de dangers doivent être relevées afin de relier le cas échéant, les transports considérés aux scénarios 3 (bouteille de gaz liquéfié inflammable) ou 12 (produit toxique en bouteille).



(bouteille de gaz)



(produit inflammable)



(produit toxique)

## A.3.2 Étape 2 : Choix du paramétrage

### A.3.2.1. Étape 2.1 : Choix des scénarios

De manière générale, le travail à mener à ce stade consiste à relier les marchandises dangereuses habituellement constatées sur l'itinéraire aux scénarios du modèle EQR les plus représentatifs.

Dans certains cas, la connaissance du code de danger suffit pour choisir le ou les scénarios représentatifs. Sinon, et c'est particulièrement le cas pour les MD ayant comme danger primaire ou secondaire un caractère toxique, il est nécessaire de tenir compte des numéros ONU correspondants.

Le lecteur pourra se procurer (sur demande au CETU) un tableau de correspondance entre les codes de dangers et les scénarios du modèle EQR. Ce tableau est utilisé en première approche dans le cadre du calcul du risque intrinsèque d'un tunnel. Bien évidemment, il n'est pas destiné à se substituer à la nécessaire expertise concernant les propriétés individuelles des marchandises identifiées (c'est-à-dire les matières et leurs conditionnements) : il constitue plutôt un guide destiné à permettre une approche homogène de la question de la représentativité des scénarios inclus dans le modèle.

Cette analyse permet de déterminer la composition du trafic TMD à prendre en compte dans le modèle et de définir les scénarios représentatifs associés. Il est donc important que le recueil des données de trafic TMD soit réalisé avec précision (voir Tableau 2).

Tableau 2 : Exemple de description du trafic TMD en fonction du code Danger

Code Danger	% du trafic TMD	MD observées (relevés) ou supputées (enquête)
22	6%	Azote ou CO <sub>2</sub> liquide réfrigéré
23	4%	Gaz naturel, hydrocarbures gazeux comprimés, GPL
30	19%	Gazole, goudrons liquides
33	40%	Essence, éthanol, acétate d'isopropyle
50	7%	Perchlorate et persulfate d'ammonium
60	3%	Liquide organique toxique, pesticides solides
80	20%	Acide phosphorique
90	1%	Matières diverses

### A.3.2.2. Étape 2.2 : Choix des périodes de temps

Sur la base des données de trafic et de population, au maximum trois périodes de temps (horaires ou saisonnières) peuvent être définies. La définition de chaque période permet de prendre en compte des variations de trafic, d'accidentologie, de population riveraine et éventuellement de géométrie de l'itinéraire (lorsque par exemple un itinéraire n'est pas utilisé l'hiver).

### **A.3.2.3 Étape 2.3 : Découpage des itinéraires en tronçons homogènes**

L'objectif de cette étape est de découper le (ou les) itinéraire(s) en tronçons homogènes du point de vue du trafic, de l'accidentologie et de la géométrie, pour chacune des périodes de temps définies précédemment.

Cette étape est généralement réalisée par le bureau d'études procédant au calcul.

### **A.3.3. Étape 3 : Calcul**

Le calcul est réalisé par le bureau d'études. Il est important qu'il soit fait par un professionnel expérimenté qui sache identifier les points sensibles ou difficiles du cas à traiter.

### **A.3.4. Étape 4 : Étude et sensibilité**

Compte tenu des incertitudes associées aux données d'entrées, il est nécessaire de vérifier l'influence des paramètres les plus importants sur le résultat du calcul. Cette étude permet d'évaluer la représentativité et la robustesse des résultats.

La sensibilité d'un résultat s'évalue en considérant l'évolution d'un risque (exprimé sous forme d'espérance mathématique du nombre annuel de victimes) lorsqu'une seule donnée d'entrée est modifiée, toutes autres choses étant égales par ailleurs. L'importance de la variation de la donnée d'entrée modifiée dépend de la plage d'incertitude inhérente à l'estimation de cette donnée. Chaque itinéraire étudié fait donc l'objet d'un certain nombre de calculs de sensibilité.

La robustesse de l'analyse désigne, de manière plus générale, le fait que les conclusions essentielles tirées du modèle ne soient pas remises en cause lorsque les paramètres d'entrée varient au sein d'une plage d'incertitude.

### **A.3.5. Étape 5 : Interprétation des résultats et conclusion**

L'interprétation des résultats et la conclusion de l'évaluation dépendent de la nature de l'étude réalisée (calcul du RI ou analyse comparative d'itinéraire le cas échéant). C'est une phase importante de récapitulation de ce qui a été fait et de mise en évidence des principaux enseignements du travail réalisé.

Il est essentiel de prendre du recul par rapport aux résultats stricts de calcul et aux approximations ou incertitudes inhérentes à la méthode, pour revenir aux enjeux principaux.

Le paragraphe suivant donne quelques indications au lecteur sur ce point.

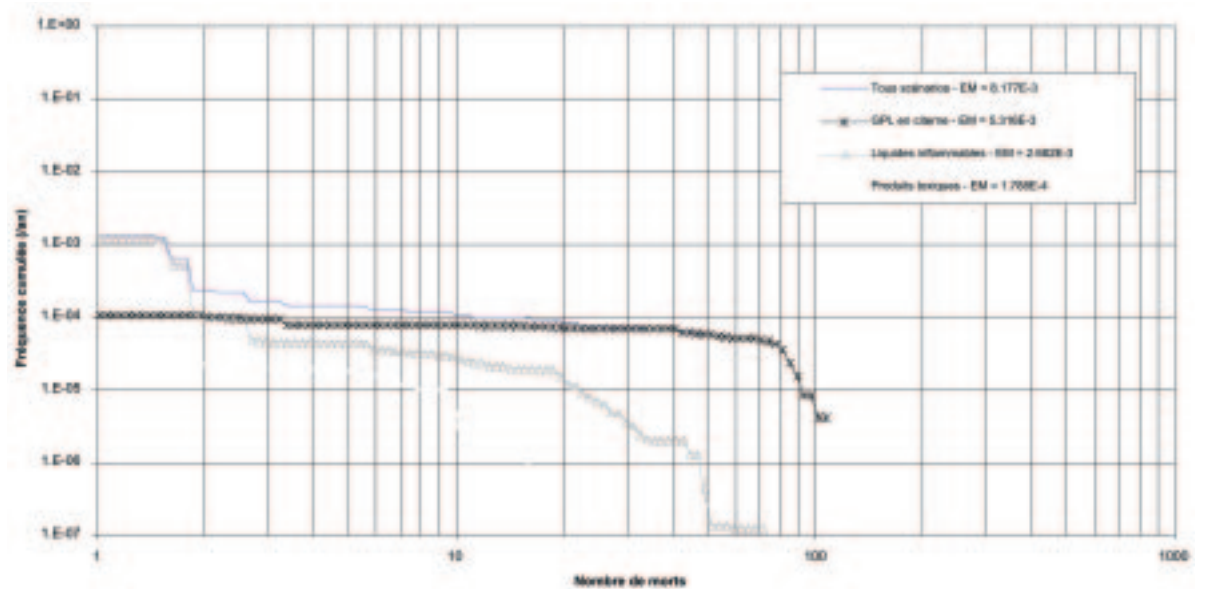
## A.4. Les résultats et leur interprétation

Le modèle fournit des résultats très complets. Le résultat le plus synthétique est l'**espérance mathématique**, notée «EM» qui correspond au nombre annuel de décès statistiquement prévisible.

L'EM peut être calculée pour chaque scénario d'accident étudié, pour un ensemble de scénarios choisis par l'opérateur, pour tous les scénarios relatifs à une même marchandise dangereuse, et surtout pour l'ensemble des scénarios relatifs à toutes les marchandises dangereuses prises en compte par la modélisation.

Le modèle EQR fournit, outre l'espérance mathématique, des résultats permettant une analyse plus détaillée. Il trace en effet des courbes fréquence/gravité (F/N), donnant, en coordonnées logarithmiques<sup>8</sup>, la fréquence F des scénarios provoquant N morts ou plus, pour les différentes valeurs de N. Ces courbes permettent d'apprécier la part des accidents entraînant de nombreuses victimes sur chaque itinéraire, si besoin pour chaque type de marchandises dangereuses.

Figure 1: Exemple pour un seul itinéraire : trois courbes F/N relatives chacune à un type de TMD et une courbe F/N relative à l'ensemble des scénarios.



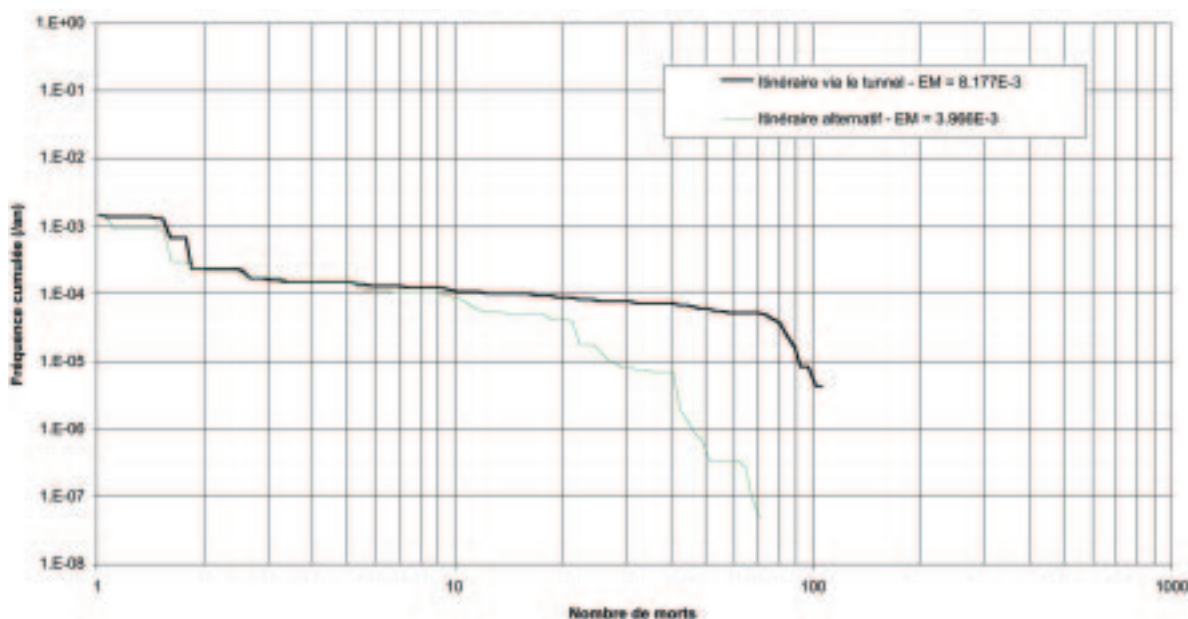
Ce type de courbes permet d'identifier la contribution de chaque marchandise dangereuse (en distinguant éventuellement différents types de conditionnement) au risque global sur l'itinéraire. Ainsi, dans l'exemple ci-dessus :

<sup>8</sup> Les courbes F-N sont données en coordonnées logarithmiques pour des raisons pratiques (très larges plages de valeurs). Si elles étaient en coordonnées linéaires, la surface sous la courbe serait égale à l'EM.

- La majeure partie du risque sur l'itinéraire empruntant le tunnel est imputable au GPL, alors que les marchandises dangereuses majoritairement transportées sont les liquides inflammables ;
- Pour les accidents avec une seule victime, les liquides inflammables sont prépondérants ;
- Pour les accidents avec plus de 20 morts, le GPL est très largement prépondérant ;
- En terme d'EM, le GPL provoque 2 fois plus de victimes que les liquides inflammables.

La comparaison des itinéraires s'appuie d'abord sur les courbes F/N de chaque itinéraire représentant la somme des probabilités de tous les scénarios. Les courbes tous scénarios de différents itinéraires peuvent être superposées sur le même graphique.

Figure 2 : Comparaison des courbes F/N entre 2 itinéraires (tous scénarios confondus)



Dans l'exemple de la figure 2, les deux courbes se croisent :

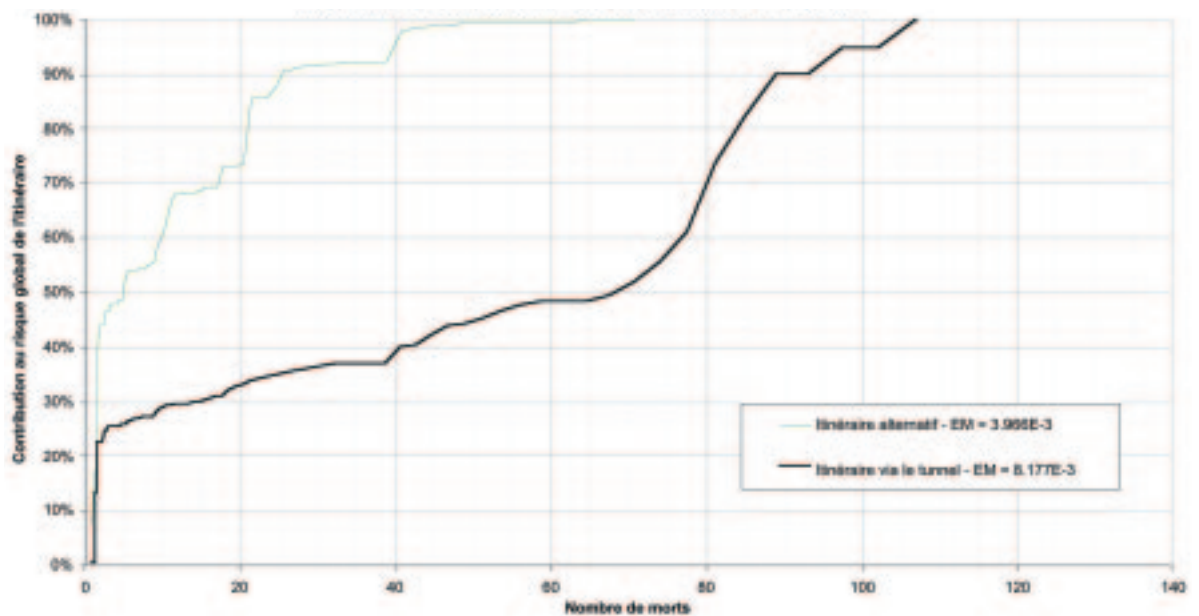
- au regard des risques de provoquer un grand nombre de victimes (plus de 10), l'itinéraire empruntant le tunnel présente les fréquences les plus élevées,
- au regard du risque de conduire à un nombre de morts plus limité (inférieur à 10 environ), les deux itinéraires présentent des fréquences très proches, les courbes s'entrecroisant.

L'EM sur l'itinéraire tunnel est le double de celle de l'itinéraire alternatif ( $8.10^{-3}$  sur l'itinéraire tunnel et  $4.10^{-3}$  morts sur l'itinéraire alternatif). On notera que cet écart est insuffisant pour conclure à une différence significative de risque entre les itinéraires comparés, compte tenu des incertitudes sur les données d'entrée et de celles propres au modèle.

Différents modes de visualisation des courbes (voir ci-après) peuvent également être proposés dans le cadre de l'étude, notamment afin de prendre en compte l'aversion au risque.

On peut aussi utiliser les résultats du modèle pour tracer, par itinéraire, la courbe cumulée représentant le contribution au risque global (à l'EM de l'itinéraire) des événements modélisés en fonction de leur gravité. Ces courbes peuvent ensuite être comparées entre elles. On peut, par exemple, constater sur le graphique suivant que sur l'itinéraire empruntant le tunnel, 50 % de l'EM provient des scénarios causant plus de 60 morts, alors que, sur l'itinéraire alternatif 50 % de l'EM provient des scénarios à moins de 5 morts, et que les scénarios faisant plus de 40 morts sur l'itinéraire alternatif ne contribuent qu'à 5 % de l'EM.

**Figure 3 : Courbes présentant la contribution en pourcentage à l'EM des événements selon leur gravité, pour chaque itinéraire**



Chacun de ces modes de visualisation est à interpréter avec précaution. Par exemple, dans la figure ci-dessus, le graphique compare les proportions dans la contribution à une EM ramenée à un même base de 100. Or les EM de chacun des deux itinéraires sont différentes (même si elles sont proches en ordre de grandeur comme le montre la figure 2). Ce mode de représentation doit donc être réservé aux cas où les EM des itinéraires sont proches.

Il est ainsi possible de réaliser un grand nombre de courbes. Il est essentiel de ne retenir dans le rapport final que les courbes apportant des éléments de réflexion utiles à l'étude.



## Le choix des itinéraires alternatifs

La question du choix et de la comparaison d'itinéraires alternatifs se pose en phase 2 de l'analyse des risques TMD.

Pour être pertinents, les itinéraires alternatifs considérés doivent évidemment avoir des caractéristiques routières permettant le passage des TMD et en particulier des semi-remorques. Ils ne doivent pas non plus déjà faire l'objet de mesures d'interdiction à ce type de transport ou de véhicules (cas de traversées de centre ville, autres tunnels, ouvrages à gabarit réduit,...)<sup>1</sup>.

La définition des itinéraires à comparer peut parfois s'imposer d'elle-même. En particulier, dans le cas d'un tunnel en projet sur un nouvel itinéraire, l'itinéraire alternatif considéré correspond tout naturellement à l'itinéraire historiquement emprunté par les TMD. D'autres cas peuvent cependant se révéler plus complexes (voir un exemple ci-après). Il s'agira alors d'anticiper au mieux les choix des transporteurs TMD, et donc les reports probables de trafic, en cas d'interdiction totale ou partielle de l'itinéraire empruntant le tunnel<sup>2</sup>.

La question peut aussi se poser différemment selon le type de TMD concerné et selon leurs origines et destinations. Par exemple, les itinéraires alternatifs pertinents respectivement pour le grand transit ou pour la desserte locale peuvent être de longueurs très différentes, avec des points de choix aux extrémités très distants sur l'itinéraire de référence.

**Pour être en mesure de mener à bien la comparaison, il est donc important que les données sur le trafic TMD comprennent des indications suffisantes sur la composition de ce trafic et sur les origines et destinations de ses différentes composantes.**

Dans le cas de transports longue distance, comme le grand transit, l'itinéraire alternatif peut parfois trouver son origine très en amont du tunnel, la déviation TMD prenant ainsi une dimension quasi régionale. Il faut alors prendre garde au fait que plus les itinéraires comparés sont longs, plus la contribution propre du tunnel dans l'EM de l'itinéraire devient faible : la comparaison d'itinéraires tend alors à sortir de la seule problématique tunnel<sup>3</sup>.

**Pour la recherche d'itinéraires alternatifs, il est recommandé de commencer par les itinéraires les plus proches du tunnel, et de n'élargir l'investigation qu'en cas de besoin. En tout état de cause, il n'est généralement pas utile de sélectionner et analyser plus de trois itinéraires alternatifs à l'itinéraire tunnel.**

<sup>1</sup> la comparaison d'itinéraires pourra néanmoins éventuellement prendre en compte de tels itinéraires en principe interdits si l'on souhaite procéder à une optimisation globale.

<sup>2</sup> Les itinéraires susceptibles de peu de reports pourront être d'emblée exclus. A noter que seuls les reports intéressent l'ACR. Ainsi les TMD qui ne passent de toute façon pas par le tunnel (par exemple pour une raison de desserte locale) ne font pas partie de l'analyse comparative, même s'ils sont une composante du trafic global de l'itinéraire alternatif étudié.

<sup>3</sup> Dans le cas d'itinéraires très longs on se trouve en général dans le cas d'EM élevées, mais peu différentes (quasi proportionnalité aux longueurs de trajet à l'air libre).

## Exemple de choix d'itinéraires alternatifs : cas des tunnels de Dullin et de l'Épine sur A43

Dans un premier temps, les possibilités de contournement des tunnels de Dullin et de l'Épine, sur l'A43, entre Lyon et Chambéry (itinéraire de référence) ont été recherchées à une échelle locale. On peut alors mettre en évidence deux itinéraires alternatifs, représentant chacun un détour d'une trentaine de kilomètres, par des routes nationales.



*Itinéraire alternatif 1*, en vert foncé, doit être immédiatement éliminé en raison de la présence du tunnel du Chat, interdit aux TMD, et qui doit sans équivoque le rester. *Itinéraire alternatif 2*, en bleu, mérite d'être étudié plus avant, malgré la présence du tunnel des Echelles et de traversées d'agglomérations parfois étroites et sinueuses mais non infranchissables par les semi-remorques.

A une échelle plus large, d'autres itinéraires alternatifs apparaissent envisageables. Ils offrent notamment l'avantage d'un parcours tout autoroutier ce qui pourrait inciter certains transporteurs à les emprunter malgré les détours plus importants qu'ils engendrent (plus de 100 à 200 km selon la provenance et la destination des TMD).



*L'itinéraire alternatif 3*, en bleu, par Grenoble et les autoroutes A 48 et A 41, constitue une alternative crédible, malgré la densité du trafic sur la rocade sud de Grenoble. En revanche, *l'itinéraire alternatif 4* par Genève et Annecy (A 42, A 40, A 41), doit être éliminé, non seulement en raison de l'importance du détour qu'il occasionne, mais aussi du fait du grand nombre d'ouvrages souterrains qu'il comporte (tunnels de Chamoise, St Germain, Châtillon et Vuache).

Dans cet exemple l'ACR a consisté en définitive à comparer l'itinéraire de référence à deux itinéraires alternatifs, l'un local par RN (n° 2) et l'autre régional (n° 3) par autoroute.



## Comparaison des risques «C» et «M»

Le présent guide indique que la comparaison des itinéraires se fait en ne considérant que les accidents de type «M», c'est-à-dire ceux pour lesquels il y a libération effective de la matière dangereuse transportée, ou conséquence directe de la matière dangereuse sur le nombre de tués.

En effet, la prise en compte des accidents de type «C», pour lesquels il n'y a pas libération de la matière dangereuse, et qui s'apparentent aux accidents de PL classiques, masquerait, lors de la détermination de l'espérance mathématique (EM), les effets spécifiques du risque lié aux matières dangereuses.

En revanche, dans le cas où les itinéraires alternatifs apparaissent très comparables au sens de ce dernier risque, une analyse complémentaire sur les accidents de type «C» peut être conduite et aider au choix final.

On constate, sur la base de l'accidentologie de la période 1987-1997, que les accidents corporels de type «M» représentent environ 40% des accidents corporels impliquant les TMD. Leur gravité (nombre de blessés et de tués) est très voisine de celle des accidents de type «C». Cela peut s'expliquer par le fait que, sur la période considérée, la plupart des accidents avec épandage de la matière dangereuse sont restés d'ampleur limitée.

La réflexion doit nécessairement aller plus loin et prendre en compte le risque d'accidents majeurs, même si leur probabilité d'occurrence est très faible. Pour donner un ordre de grandeur, dans le modèle EQR, les probabilités conditionnelles pour qu'un accident matériel de véhicule TMD dégénère pour conduire à un des scénarios graves retenus dans le modèle, sont en moyenne de 2/1000 à l'air libre et de 5/1000 en tunnel.

Le modèle EQR peut être utilisé pour comparer les risques d'accidents de type «C» et de type «M». Des calculs réalisés sur plusieurs ouvrages montrent que l'EM des accidents de type «C» est de 2 à 30 fois plus élevée que l'EM des accidents de type «M», avec une moyenne de 9.



# L'aversion au risque

L'aversion au risque consiste à pondérer les résultats en fonction de la nature de la population concernée par le risque (usagers de la route, riverains, populations locales,...) ou encore du nombre de morts simultanés susceptibles d'être causés par l'accident, afin de mieux tenir compte de la perception «sociale» des conséquences et des conditions de cet accident.

## D.1.- Les différents niveaux de l'aversion au risque

On peut caractériser l'aversion au risque par deux niveaux :

- Le premier niveau concerne la nature des populations exposées à ce risque. Le logiciel EQR permet de distinguer les usagers de la route et les riverains de l'itinéraire. Il est également possible d'approfondir l'analyse en considérant respectivement les causes, ou le lieu de l'accident.
- Le second niveau porte, pour une population et une cause d'accident données, sur la gravité des accidents. Le calcul de EM est alors pondéré pour donner un poids plus important aux accidents susceptibles de provoquer un grand nombre de morts.

$$\text{On a alors : } EM = \sum_{i=1}^n f(N_i) \cdot N_i^a$$

où  $N_i$  est le nombre de morts de l'accident «i»,  $f(N_i)$  est sa probabilité d'occurrence et «a» est un nombre réel supérieur à 1 appelé «facteur d'aversion». C'est ce facteur qui définit la pondération liée à la gravité.

Aux Pays-Bas, le facteur d'aversion a été fixé à 2, ce qui signifie que le poids donné dans le calcul de l'EM à un accident faisant 100 morts est 100 fois plus élevé que celui d'un accident faisant 10 morts. En revanche d'autres pays comme le Royaume Uni ont explicitement décidé de ne retenir aucun facteur d'aversion ( $a = 1$ ).

Le choix de l'utilisation ou non d'un facteur d'aversion et la détermination de sa valeur ne reposent pas sur des justifications «techniques» mais sur des considérations «politiques» intégrant plus largement la notion de perception et d'acceptation sociale du risque.

Il serait illusoire de penser que l'utilisation d'un facteur d'aversion règle l'ensemble du problème. En effet, dans le modèle EQR, les nombres de victimes engendrées par les événements envisagés peuvent varier de un à plusieurs centaines selon le type d'évènement. On peut se demander si, au delà d'un certain seuil, la réaction de la population n'est pas toujours la même, c'est-à-dire celle de ne pas accepter. Avec l'utilisation d'un facteur d'aversion, l'occurrence de 50 morts aura beaucoup plus d'impact que cinq occurrences de 10 morts, ce qui ne correspond pas forcément à la réaction que l'on peut attendre de l'opinion publique lorsque des catastrophes se répètent.

## **D.2. Le choix des accidents de type «M» ou l'aversion implicite :**

Dans les approches ACR, seules les victimes des accidents de type «M» sont comptabilisées. Il s'agit implicitement d'une pondération qui correspond à une aversion de 2ème niveau dans la mesure où, parmi tous les accidents possibles de TMD, les accidents de type C, plus classiques au sens de l'accidentologie routière, caractérisés par des fréquences fortes et un nombre plus limité de victimes, ne sont pas pris en compte.

## **D.3. Les autres aspects de l'aversion au risque :**

Puisqu'il s'agit ici de pondérer l'impact social d'un accident en fonction de ses conséquences, d'autres aspects que le seul nombre de morts peuvent également être considérés, même s'il est évidemment toujours délicat de mettre en regard les vies humaines et les risques environnementaux ou matériels.

Une approche pourrait être de «monétariser» chacun des impacts potentiels de manière à les cumuler ensuite, et définir un risque global, avec des méthodes voisines de celles utilisées pour l'évaluation socio-économique des projets.

La prise en compte des différents aspects (ou critères de choix) est un exercice très difficile. L'approche critère par critère peut conduire à préconiser des itinéraires différents selon le critère considéré. La décision ne peut alors se fonder que sur une analyse de type multi-critères à définir au cas par cas.

## **D.4. Les remises en cause des politiques vis à vis du risque**

Le retour d'expérience des catastrophes récentes en tunnel (bien qu'elles n'aient pas impliqué de TMD), ou l'accident d'AZF (qui a impliqué une matière dangereuse) montre que ces accidents suscitent des révisions importantes de la réglementation et la recherche d'un niveau de sécurité toujours accru. Même si objectivement le nombre de morts qu'elles provoquent reste peu élevé comparativement aux problématiques de santé publique ou de sécurité routière, ces catastrophes sont suffisamment traumatisantes pour imposer, au niveau français ou européen, un changement en profondeur des politiques de gestion des risques.

Est-il cohérent alors, de considérer sur le papier que 10 fois 10 morts est plus acceptable qu'une seule fois 100 morts si, dès l'occurrence d'un événement produisant 10 morts, la politique de gestion du risque est remise en cause et permet de mieux prévenir l'occurrence des 9 autres événements ? Cet exemple traduit bien la complexité du sujet.



# Effacité et prise en compte des mesures permettant de réduire les risques TMD

Parmi des différentes mesures pouvant être prises pour réduire le risque lié aux TMD dans les tunnels, la présente annexe aborde la problématique des passages en convoi, ainsi que celle des restrictions horaires.

## E.1. Les passages en convoi avec escorte

### E.1.1. Les différents types de convois avec escorte et l'intérêt du concept

Il existe différentes manières d'organiser des convois de TMD. Trois cas peuvent être distingués :

- Convoi circulant sur un itinéraire complètement neutralisé pour les autres véhicules,
- Convoi circulant sur un itinéraire comportant une seule voie par sens de circulation et laissé ouvert à tout ou partie du reste de la circulation,
- Convoi circulant sur un itinéraire avec plusieurs voies par sens de circulation et laissé ouvert à tout ou partie du reste de la circulation.

D'emblée, il apparaît que l'intérêt du troisième cas est extrêmement limité. En effet l'organisation de convois n'a de sens que si elle contribue à réduire la probabilité d'occurrence des accidents ainsi que leur gravité potentielle. Or ce bénéfice disparaît rapidement lorsque les autres véhicules peuvent circuler librement «autour» du convoi. Aussi, cette configuration ne sera pas considérée dans les paragraphes qui suivent.

Dans chaque cas, le convoi est constitué des véhicules transportant les TMD et de véhicules accompagnateurs. Sont également associées des règles de circulation précisant, par exemple :

- le nombre maximal de véhicules TMD admis dans un convoi,
- la vitesse maximale admise,
- l'inter-distance en marche,
- l'inter-distance à l'arrêt (éventuellement).

Une des objections les plus fréquentes à la mise en convois est liée aux phénomènes de propagation d'un accident et aux risques d'effets domino<sup>4</sup>. Cet inconvénient, qui peut en partie être réduit par un strict respect des inter-distances, est contrebalancé par des avantages importants décrits ci-après.

<sup>4</sup> L'effet domino représente la propagation d'un sinistre de véhicule à véhicule ou de véhicule à une installation.

### **E.1.2. Diminution des fréquences d'occurrence des scénarios d'accident TMD**

Dans un convoi, les véhicules respectent tous une vitesse limite modérée et une inter-distance imposée. Comme en outre la circulation ne s'effectue que sur une seule file, les dépassements de TMD par d'autres véhicules sont impossibles. Il est clair que la probabilité qu'un accident débouche sur un scénario grave diminue alors très notablement.

Une partie des incidents impliquant des MD n'a pas pour origine un accident de la circulation mais une perte de confinement ou un incendie spontané. Même en ce qui concerne ces causes extérieures à la circulation, le passage en convoi constitue un facteur favorable. En effet, la mise en convoi des TMD s'accompagne généralement :

- d'un arrêt des TMD sur une aire, en attente de la mise en convoi,
- d'une escorte du convoi durant la traversée du tunnel.

Ces facteurs favorisent un refroidissement des moteurs avant le tunnel et une plus grande vigilance lors de la traversée. Par ailleurs, dans certains cas, des inspections visuelles des véhicules peuvent aussi être faites avant le démarrage des convois.

### **E.1.3. Diminution de la gravité des scénarios**

Si l'itinéraire est totalement ou partiellement neutralisé, un nombre réduit d'usagers de la route est susceptible d'être présent à proximité d'un éventuel accident. De plus, la mise en place d'une escorte permet de détecter plus vite des incidents survenant sur un ou plusieurs TMD du convoi, d'intervenir rapidement sur ces incidents et de prévenir le centre d'exploitation. L'escorte peut donc notablement limiter les délais d'alarme en cas d'incident. Cette limitation des délais agit aussi bien en prévention qu'en protection.

### **E.1.4. Prise en compte des convois avec escorte dans le modèle EQR**

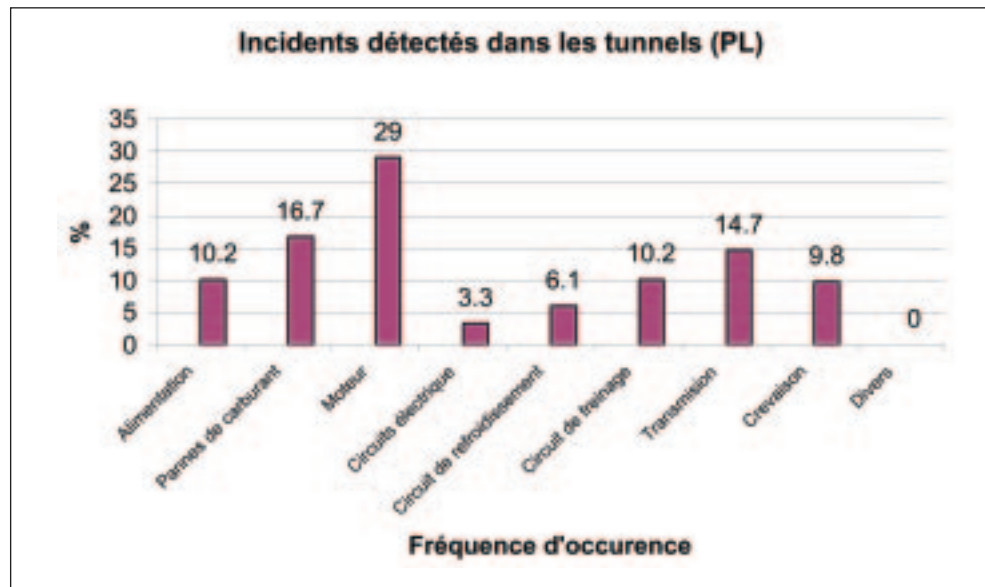
#### **Les fréquences d'occurrence**

La prise en compte de la mise en convois dans le modèle EQR peut se faire de deux façons :

- la diminution des taux d'accidents ; après analyse des causes des accidents, il est possible de déterminer et d'écarter celles qui ne sont plus pertinentes du fait du passage en convoi.
- La modification des «probabilités conditionnelles» d'avoir un scénario suite à un accident ; cela suppose cependant d'avoir à disposition des données statistiques suffisamment fournies.

L'analyse qui suit est un exemple d'application de l'évaluation de la diminution des fréquences d'occurrence des accidents spontanés. Le tableau ci-après présente la répartition en familles des incidents relevés en tunnels, selon le rapport de recherche du CETU de 1998 «Pannes, accidents et incendies dans les tunnels routiers français».

Figure 1 : Répartition par famille de la nature des incidents PL relevés en tunnel pour 1998



En premier lieu, l'hypothèse est faite que les pannes, accidents et incidents surviennent pour les TMD selon une répartition semblable à celle des autres PL.

Ensuite l'apport en termes de sécurité de l'organisation de convois peut être évalué. Ainsi le refroidissement des camions en attente, l'inspection visuelle des TMD et la surveillance durant l'escorte peuvent permettre d'éviter les départs de feu spontanés, les fuites et les chargements mal arrimés. En revanche, les crevaissons, les pannes de carburant, les problèmes de frein ou d'alimentation ne pourront a priori pas être écartés.

Pour les autres types d'incidents relevés (les casses de turbo, problèmes de moteur, problèmes de transmission, problèmes électriques et divers), on peut considérer, en première hypothèse, qu'ils peuvent être évités à 50 % du fait du refroidissement possible des éléments mécaniques sur l'aire d'attente. Si on considère la répartition par familles présentée dans la figure 1, et qu'on applique pour chaque famille le facteur de réduction correspondant au passage en convoi, on obtient globalement, à titre d'ordre de grandeur, que 30 % des incidents peuvent être évités par la formation de convois avec escorte.

### Les gravités

La version actuelle du modèle EQR ne permet pas de prendre en compte la diminution de la gravité à la suite de la formation de convois. Le trafic est en effet toujours

défini comme continu, ce qui n'est pas le cas lors d'un passage en convois. Une des pistes pour améliorer la modélisation est de définir des périodes de temps correspondant aux périodes de convois. Cette méthode est encore en développement et ne peut être mise en œuvre qu'avec une très bonne connaissance du fonctionnement de l'outil EQR.

## E.2. Les restrictions horaires

Le modèle EQR permet la prise en compte de différentes périodes temporelles. Cette approche n'a de sens que si les données d'entrée présentent effectivement des variations marquées au cours du temps, qu'il s'agisse de variations horaires, hebdomadaires, saisonnières, etc. Ces variations peuvent concerner aussi bien les trafics (des TMD et/ou des autres véhicules) que l'environnement (variation de la population à proximité de l'ouvrage).

Le modèle permet de calculer le risque (sous forme de courbe F/N ou d'espérance mathématique) propre à chacune des périodes définies et de faire ensuite le cumul de ces risques. Même si l'itinéraire par le tunnel présente globalement moins de risques que les itinéraires alternatifs, il est possible qu'il en présente plus sur une période donnée. Une restriction horaire du transit TMD, ajustée de façon pertinente, permet alors de diminuer le niveau global de risques.

Considérons, à titre d'exemple, la situation suivante pour laquelle l'itinéraire par le tunnel est comparé à un itinéraire alternatif. Le trafic est décomposé selon trois périodes avec des variations importantes de trafic et de population dans la journée. On suppose que le fait d'emprunter l'un ou l'autre des itinéraires ne modifie pas la répartition horaire des trafics.

**Tableau 1 :**  
**Exemple de résultats d'une comparaison d'itinéraires suivant les périodes de temps**

Espérance Mathématique EM	Période creuse	Période normale	Période de pointe	Toutes périodes cofondues
Itinéraire tunnel	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Itinéraire air libre alternatif	$7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$

Ce cas de figure peut se présenter si par exemple :

- La période creuse est caractérisée par un faible trafic mais des populations riveraines importantes le long de l'itinéraire alternatif (période de nuit par exemple),

- La période de pointe présente un fort trafic sur l'itinéraire tunnel et des densités de population faibles (périodes correspondant aux déplacements domicile - lieu de travail).

Supposons également, compte tenu des niveaux de trafic et des densités de population sur les deux itinéraires, que la proportion des usagers de la route est prépondérante parmi l'ensemble des victimes produites sur l'itinéraire tunnel, et que la majeure partie des victimes produites sur l'itinéraire air libre est constituée de populations locales. Dans une telle situation, pour l'itinéraire tunnel, la période présentant le plus de risque est la période de pointe (période de fort trafic), tandis que pour l'itinéraire alternatif à l'air libre, il s'agit de la période creuse (forte densité de population). On pourrait alors envisager d'interdire le tunnel avec TMD pendant les seules périodes de pointe. Toutefois, dans l'exemple précédent, si les résultats permettent d'alimenter la réflexion, les EM ne diffèrent pas suffisamment pour conclure clairement en faveur d'une restriction horaire.

En conclusion, le modèle EQR est à même de prendre en compte les restrictions horaires. Mais de telles mesures ne sont pertinentes que dans les situations présentant effectivement de grandes variations de trafic et/ou de population concernée.

# Table des matières

1	<b>La problématique des transports de marchandises dangereuses (TMD)</b>	<b>3</b>
	1.1. Les TMD et leur réglementation générale	3
	1.2. Spécificités des tunnels pour les TMD	6
2	<b>Principes de l'analyse des risques liés au TMD</b>	<b>9</b>
	2.1. Le modèle d'évaluation quantitative des risques	9
	2.2. Une évaluation des risques en deux phases	11
	2.3. Cas où l'analyse des risques est inutile	11
	2.4. Place de l'analyse des risques TMD	12
	2.5. Synthèse	13
3	<b>Déroulement de la phase 1 (risque intrinsèque et itinéraire alternatif)</b>	<b>15</b>
4	<b>Déroulement de la phase 2 (comparaison des itinéraires)</b>	<b>17</b>
	1ère étape : Comparaison des EM	17
	2ème étape : Prise en compte d'autres critères	18
5	<b>Mesures permettant de réduire le risque TMD en tunnel</b>	<b>21</b>
	5.1. Mesures concernant le tunnel et son exploitation	21
	5.2. Interdiction de certaines catégories de marchandises dangereuses	22
	5.3. Passage en convois avec accompagnement	22
	5.4. Restrictions horaires	23
	<b>Annexes</b>	
	Présentation du modèle EQR	A.1 à A.4
	Le choix des itinéraires alternatifs	B
	Comparaison des risques «C» et «M»	C
	L'aversion au risque	D.1 à D.4
	Efficacité et prise en compte des mesures permettant de réduire les risques TMD	E.1 à E.2

À la demande du comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers (CESTR), le centre d'Etudes des Tunnels (CETU) a constitué un groupe de travail afin de produire un guide destiné à l'ensemble des personnes concernées par les dossiers de sécurité des tunnels routiers.

Ce groupe de travail a été composé de représentants du CETU, de la Mission Transports des Marchandises Dangereuses de la Direction des Transports Terrestres (DTT-MTMD), de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (Ineris), de bureaux d'études, de maîtres d'ouvrage et d'exploitants, certains participants étant également membres du CESTR. Le Centre de Gestion Scientifique de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris (CGS-ENSMP) a apporté un soutien méthodologique et opérationnel au groupe ainsi constitué.

*On trouvera ci-après la liste des participants aux réunions du groupe:*

*Michel Vistoroky (Area), Pierre Kohler (Bonnard et Gardel SA),  
Yves Trottet (Bonnard et Gardel S.A.), Éric Cesmat (CSTB),  
Pascal Beria (DDE 13), Marilou Marti (DDE 13),  
Philip Berger (Docalogic Inflow), Romain Cailleton (DTT-MTMD),  
Daniel Fixari (ENSMP-CGS), Philippe Cassini (Ineris),  
Raphaël Defert (Ineris), Emmanuel Plot (Ineris), Emmanuel Ruffin (Ineris),  
Johann Lecointre (Ligeron SA), Philippe Pons (Ligeron SA),  
Eric Boisguerin (Scetauroute), Anne-Sophie Graipin (Scetauroute),  
Michel Legrand (Scetauroute), Pierre Merand (Scetauroute),  
Raymond Vaillant (Setec TPI), Pierre Carlotti (Cetu), M. Deffayet (Cetu),  
François Demouge (Cetu), Nelson Gonçalves (Cetu), Didier Lacroix (Cetu),  
Claude Moret (Cetu), Michel Pérard (Cetu), Philippe Sardin (Cetu),  
Marc Tesson (Cetu).*

## Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers:

- Fascicule 0 Finalités du dossier de sécurité
- Fascicule 1 Modalités d'élaboration du dossier de sécurité
- Fascicule 2 Tunnels en exploitation  
«de l'état des lieux à l'état de référence»
- ■ Fascicule 3 **Les analyses des risques liés au transport des marchandises dangereuses**
- Fascicule 4 Les études spécifiques des dangers (ESD)
- Fascicule 5 Le plan d'intervention et de sécurité (PIS)

25, avenue  
François Mitterrand  
Case n°1  
69674 Bron Cedex  
téléphone:  
33 (0) 4 72 14 34 00  
télécopie:  
33 (0) 4 72 14 34 30  
mél: cetu  
@equipement.gouv.fr  
internet:  
www.cetu.equipement.  
gouv.fr

Le choix d'admettre en tunnel les véhicules transportant des marchandises dangereuses (TMD) s'appuie sur des analyses de risques, menées en deux phases.

Dans une première phase, on évalue le risque intrinsèque induit par la circulation des véhicules TMD dans le tunnel.

Si ce risque est supérieur à un certain seuil, on procède alors, dans une seconde phase, à une analyse comparative des risques entre l'itinéraire comportant le tunnel et un ou plusieurs itinéraires alternatifs.

Ce fascicule décrit successivement ces deux phases d'une manière simple et opérationnelle. Le lecteur intéressé trouvera dans les annexes des compléments d'information et des justifications sur la démarche adoptée.

*C'est à la demande du comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers (CESTR) que le centre d'Études des Tunnels (CETU) a constitué un groupe de travail qui a élaboré le présent fascicule.*