

# LA TENTATION DE LA SCIENCE : QUANTIFIER LES RISQUES DES TUNNELS ROUTIERS

Suite à l'incendie survenu dans le tunnel du Mont Blanc, une nouvelle réglementation a été adoptée imposant pour chaque tunnel routier la réalisation d'une étude de ses risques spécifiques et, pour le transit des marchandises dangereuses, une comparaison avec les risques présentés par les itinéraires alternatifs. Dans la mise en œuvre pratique de ces nouvelles études, la tentation a été grande de multiplier et de sophistication les modélisations d'incendies, les analyses de scénarios, les calculs de probabilité, les critères permettant d'effectuer des choix rationnels... Le groupe de travail chargé de définir de bonnes pratiques en la matière, qui avait à la fois une grande expérience du terrain et des outils scientifiques, a convergé progressivement vers une doctrine concrète d'« usage raisonné » de la science faisant leur place aux raisonnements traditionnels fondés sur des règles simples, mais robustes. On décrira ici la complexité des arbitrages faits entre deux logiques, la logique « hyper-rationnelle » et la logique pragmatique, qui sont toujours plus ou moins en tension dans la réglementation relative aux risques.

Par **Daniel FIXARI\***

**L**e 24 mars 1999 s'est produite dans le tunnel du Mont Blanc la terrible catastrophe que l'on sait, ce qui déclencha immédiatement, comme toujours en pareil cas, des initiatives de réformes. Fut ainsi créé un Comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers présidé par un ingénieur général des Ponts-et-Chaussées, qui fut chargé de procéder rapidement à un diagnostic des tunnels routiers français d'une longueur supérieure à un kilomètre et de faire

des recommandations en vue de leur amélioration en matière de sécurité. La circulaire interministérielle de 1981 réglementant les tunnels vit sa refonte, alors en cours, accélérée. La nouvelle circulaire du 25 août 2000 confia en particulier au Comité d'évaluation une mission permanente d'avis sur la sécurité de tous

---

\* Professeur à Mines-ParisTech.

les tunnels existants (une centaine environ) ou en projet, un avis devant être transmis au préfet décisionnaire en la matière (1).

Il existait certes déjà la garantie de sécurité apportée par le fait qu'un tunnel neuf devait respecter des spécifications détaillées, objets d'une « Instruction Technique » (d'une soixantaine de pages) annexée à la circulaire et reflétant l'état de l'art le plus récent. Mais cette garantie a paru insuffisante car, entre autres, elle ne couvrait pas les tunnels en exploitation, dont certains, très anciens, sont parfois loin de respecter les spécifications particulièrement exigeantes de l'Instruction Technique, et loin aussi de pouvoir se mettre à niveau pour un coût raisonnable.

La circulaire imposa donc la constitution d'un « Dossier de Sécurité » (soumis au Comité, pour chaque tunnel) qui, outre la description du trafic, des équipements et des mesures de sécurité, du Plan d'intervention et de secours, des modalités de retour d'expérience et de mise en œuvre d'exercices obligatoires, comporterait (nouveau important) une « Étude Spécifique des Dangers » (ESD). Nous allons voir qu'avec cette ESD, la circulaire ouvrait en fait une boîte de Pandore aux effets imprévisibles. Une deuxième boîte de Pandore allait d'ailleurs être ensuite ouverte avec la parution (le 30 novembre 2000) d'une circulaire complémentaire qui, traitant spécifiquement du cas du transport des marchandises dangereuses, instaura, quant à elle, l'obligation nouvelle de procéder à une « Analyse Comparative des Risques » (ACR) entre le trajet de ces marchandises par le tunnel considéré et par des itinéraires alternatifs. Ce sont ces deux nouveaux outils dont notre article va explorer la nature et les usages.

Le problème était que la définition de l'ESD restait floue et ne faisait l'objet, dans la circulaire, que de quatre lignes, très générales (2). Quant à l'ACR, la circulaire avait au contraire précisé qu'il fallait utiliser un modèle quantitatif sophistiqué, traduit dans un logiciel dit « EQR » (Évaluation Quantitative des Risques), intégrant des calculs probabilistes qui venait d'être mis au point, pour l'OCDE et pour l'AICPR (Association mondiale de la route), en particulier par l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS).

Pour les « maîtres d'ouvrage » exploitants responsables de tunnels (directions départementales de l'Équipement, sociétés d'autoroutes...) devant faire réaliser l'ESD et l'ACR par un des rares bureaux d'études spécialisés dans ce domaine, le cahier des charges ESD tiré de la circulaire était évidemment trop mince et

celui de l'ACR trop précis, avec notamment l'obligation d'utiliser le lourd logiciel EQR. De fait, les premières ESD réalisées, très volumineuses, se révélèrent fort hétéroclites et, bien que de qualité, peu adaptées aux attentes du Comité d'évaluation. Du côté des ACR, les résultats fournis par le logiciel furent contestés par des maîtres d'ouvrage ou des élus locaux, en particulier lorsque ces résultats concluaient à l'interdiction de l'accès du tunnel aux marchandises dangereuses...

Le Comité d'évaluation demanda alors au Centre d'Étude des Tunnels (CETU) du ministère en charge des Transports, qui assurait le secrétariat du Comité, de rédiger un premier guide méthodologique des ESD, puis un second pour les ACR. À cette fin, le CETU constitua fin 2000 un groupe de travail composé, outre de membres du CETU, du Comité d'évaluation et de la Direction des Transports Terrestres, d'exploitants maîtres d'ouvrage, de bureaux d'études, de spécialistes de l'INERIS et de chercheurs (3) (dont l'auteur de cet article). Le travail de ce groupe s'est étalé sur près de deux années.

En fait, comme nous le verrons en conclusion, au-delà des points qui apparaissaient *a priori* les plus « durs », ESD et ACR, c'est l'ensemble de la démarche du dossier de sécurité que le groupe a finalement interrogée et recadrée (4) *via* les guides successivement élaborés, puis validés par le Comité d'évaluation. Il s'agissait non pas d'une simple contrainte administrative, mais d'une volonté d'en faire à l'intention des parties prenantes un véritable outil d'apprentissage collectif du « système » tunnel.

Des débats du groupe, à la fois pratiques et de principe, a fini par se dégager une philosophie consensuelle que l'on pourrait qualifier, pour faire simple, « d'usage raisonné » de la science. *A contrario*, les « Études Spécifiques des Dangers » et les « Analyses Comparatives des Risques » introduites par la réglementation pouvaient pousser, chacune de leur côté, à un usage excessif de la science, des modélisations de la mécanique des fluides aux statistiques. C'est de cette aventure collective dont nous allons tenter, avec le recul, de rendre compte, avant d'en tirer des leçons générales sur la réglementation des risques et sur celle des études de risques.

Pour cela, nous devons au préalable donner aux non spécialistes les rudiments de ce qui constitue les dangers d'un tunnel, les problèmes posés par la quantification de leur gravité et les façons dont on cherche à y parer. Cela nous permettra ensuite de comparer, sans trop esquiver la technicité de certains points, les

(1) En fait, seuls les tunnels du réseau routier « national » sont réglementés par la circulaire. La cinquantaine de tunnels du réseau des collectivités locales n'a été intégrée au système que par un décret de 2005.

(2) L'ESD doit « décrire les accidents, quelle que soit leur origine, susceptibles de se produire [...] Cette étude précise et justifie les mesures propres à réduire la probabilité que ces accidents surviennent et leurs conséquences ».

(3) Ils étaient chargés d'aider le directeur du CETU pour l'animation du groupe : préparation des séances, rédaction de comptes rendus, de synthèses thématiques et de projets de guides méthodologiques, interviews d'experts et analyses critiques des études existantes...

(4) Les guides méthodologiques des dossiers de sécurité sont disponibles sur le site [www.cetu@equipement.gouv.fr](http://www.cetu@equipement.gouv.fr)

différents modes d'approche, contrastés, de la gestion des risques propres à l'Instruction Technique, d'une part, et au logiciel EQR et aux ESD, à base de scénarios plus ou moins probabilisés, d'autre part. Puis nous verrons que sans un minimum de précautions, l'utilisation du logiciel pour comparer des itinéraires peut conduire à des paradoxes logiques. Enfin, après avoir exploré la façon dont les résultats de l'ACR peuvent ou non « dicter » la décision, en s'inspirant de la théorie de la décision dans l'incertain, nous testerons la solidité des probabilités utilisées tant dans les ACR que dans les ESD. À chacune de ces étapes seront indiquées les conclusions auxquelles le groupe de travail est parvenu progressivement.

### LES RISQUES INHÉRENTS AUX TUNNELS, LEUR PRÉVENTION ET LEUR QUANTIFICATION

Même si ce ne n'est pas le seul risque présenté par les tunnels, nous nous limiterons ici, pour les non spécialistes, à celui, emblématique, lié aux incendies de véhicules. Un élément essentiel en la matière est de savoir si le courant d'air dans le tunnel est suffisant (« vitesse critique ») pour pouvoir pousser les fumées vers l'aval de l'incendie, où les véhicules peuvent s'échapper vers la sortie, épargnant ainsi les véhicules bloqués à l'amont. Mais ce raisonnement n'est évidemment valable qu'en l'absence de bouchons à la sortie et pour des tunnels unidirectionnels (à sens unique de circulation) qui sont de ce fait moins dangereux que les tunnels bidirectionnels. Pour ces derniers, l'enjeu est de savoir si les fumées à l'aval vont rester stratifiées au plafond, préservant au moins la visibilité, ce qui requiert, cette fois, que le courant d'air d'aération ne soit pas trop puissant.

Le courant d'air longitudinal amont/aval dépend tout d'abord, outre évidemment de l'évolution temporelle de la puissance de l'incendie, du système de ventilation de désenfumage installé dans le tunnel, du temps nécessaire pour que ce dernier atteigne sa pleine efficacité, de la diminution de cette efficacité avec la température de l'air et de la possible destruction partielle du système par l'incendie. Mais certains tunnels ne peuvent compter que sur la ventilation naturelle et d'autres ont une ventilation non pas longitudinale, mais transversale (injection d'air frais sur les côtés), ou d'autres encore ont une ventilation mixte.

Le courant d'air dépend aussi de la pente du tunnel (qui induit un « effet cheminée »), de son gabarit, des échanges thermiques avec les parois, de la différence de pression atmosphérique extérieure entre les deux têtes du tunnel, qui dépend de la météorologie (rose des vents), de l'obstacle constitué par les véhicules arrêtés et de l'effet de « pistonage » généré par les véhicules en mouvement dans la galerie.

On conçoit aisément que la modélisation précise de phénomènes aussi nombreux et complexes représente un véritable défi, que des spécialistes ont voulu relever. Il faut en principe pour cela une modélisation en trois dimensions qui ne se contente pas d'hypothèses de régimes permanents ou isothermes, ce qui n'est pas à la portée du premier venu : un outil à ne pas mettre entre des mains inexpertes ! Il existe, en concurrence, un certain nombre de modèles simplifiés monodimensionnels et un certain nombre de formules de calcul de la vitesse critique (ce sont des formules semi-empiriques, comme celles que les ingénieurs-concepteurs d'équipements ont l'habitude d'utiliser pour dégrossir les problèmes avant de se ménager des marges de sécurité par rapport aux résultats obtenus). La gravité des conséquences de l'incendie n'est évidemment pas la même selon qu'il s'agit d'un véhicule léger ou d'un camion-citerne d'hydrocarbures. Elle dépend aussi du nombre de personnes présentes dans le tunnel, en aval et en amont de l'incendie. Cela dépend de l'état du trafic routier, congestionné ou non, de sa composition en voitures, camions ou cars, de la vitesse des véhicules, du respect des distances de sécurité, de la vitesse du phénomène de remontée de bouchon, du temps nécessaire pour que l'alarme soit donnée, qui dépend du niveau de surveillance du tunnel (présence humaine en permanence ou non, ou encore par détections automatiques d'incidents et d'incendies), du délai de fermeture effective du tunnel... Ces conséquences sont évidemment limitées si les personnes ont eu le temps de se mettre à l'abri et ont eu les bons réflexes : présence d'abris et de sorties de secours, efficacité de leur signalisation, temps nécessaire pour y accéder, compte tenu de leur emplacement par rapport à l'incendie et de la présence de fumées...

Le temps minimal nécessaire pour l'arrivée des secours et des pompiers, variable selon les tunnels (certains étant très isolés), joue pour pouvoir aller aider rapidement les personnes qui se sont mises à l'abri, mais il est en général trop long par rapport à la vitesse du phénomène : en au plus une demi-heure, tout est déjà joué pour les personnes, et les efforts des pompiers pour maîtriser l'incendie (très difficiles à soutenir à partir d'une certaine puissance) ne servent alors guère qu'à limiter les dégâts occasionnés au tunnel lui-même.

### LA LOGIQUE DE L'« INSTRUCTION TECHNIQUE »

Pour moduler le degré d'exigence des prescriptions selon la dangerosité d'un tunnel et les adapter à ses spécificités, l'« Instruction Technique » réglementant les tunnels neufs fait appel à trois critères : la longueur du tunnel, son caractère uni ou bidirectionnel et son « type de trafic ». Ce dernier critère est lui-même

déterminé à partir de la combinaison de deux paramètres, « urbain ou non » et « à trafic faible ou non ». Ces deux paramètres se voient attribuer une définition très précise, assez complexe et composite :

– « Tunnel à trafic faible » : le trafic mesuré sur dix ans de chaque sens de circulation est inférieur à la fois à 2 000 véhicules/jour en moyenne annuelle et à 400 véhicules à l'heure de pointe (correspondant à la trentième heure de trafic le plus chargé de l'année), les poids lourds comptant pour cinq véhicules dans ce calcul.

– « Tunnel Urbain » : tunnel situé à l'intérieur d'une unité urbaine (au sens de l'INSEE) de plus de 20 000 habitants (ou un tunnel qui présente des risques de congestion fréquente) et qui enregistre un trafic mesuré sur dix ans supérieur à 1 000 véhicules par voie de circulation à l'heure de pointe quotidienne, ou qui comporte un risque de remontée de queue en tunnel, ou encore dans lequel il existe des échangeurs, des aménagements destinés aux piétons, aux deux roues, aux transports en commun...

La circulaire, après avoir exempté les tunnels de moins de 300 m de longueur de ses préconisations, jongle ainsi avec la combinatoire de situations telles que « tunnel bidirectionnel non urbain de trafic non faible de plus de 500 m », etc. (voir les quelques exemples donnés dans l'encadré ci-contre).

Il est certes intuitif qu'un tunnel sera d'autant plus dangereux qu'il sera long, bidirectionnel, fréquenté notamment par beaucoup de poids lourds, susceptible de bouchonner car proche d'une agglomération. Il faut bien en tenir compte dans la sévérité de la réglementation, car, par exemple, le trafic moyen journalier peut aller, pour les tunnels de 1 à 13 kilomètres de longueur, de 1 000 à 200 000 véhicules par jour, et de 200 à 30 000 véhicules pour les seuls poids lourds. Même s'ils ne sont pas arbitraires, les seuils de longueur et de trafic édictés par la circulaire peuvent évidemment être jugés assez conventionnels, mais peu de réglementations peuvent se passer de faire usage de seuils (et donc, éviter les effets de seuil...).

Cela dit, si certaines règles sont présentées comme intangibles (largeur et hauteur des trottoirs...), d'autres sont présentées comme semi-flexibles (modes de ventilation...). De plus, il est indiqué que l'on peut déroger à certaines prescriptions si l'on propose des mesures compensatoires en démontrant que l'on aboutit au même niveau de sécurité (par exemple, en prévoyant plus d'issues de secours pour compenser des difficultés de ventilation). La question est alors évidemment de savoir comment apporter cette démonstration.

La logique de règles « garde-fous », condensés de l'expérience accumulée qui est celle de l'Instruction Technique, a été considérée par le groupe de travail comme un fil rouge utile pour analyser les tunnels existants. Avant toute chose, l'ESD devait lister tous leurs écarts avec les prescriptions de l'Instruction

## EXEMPLES DE MODULATION DES PRESCRIPTIONS

« Les tunnels seront à deux tubes unidirectionnels pour pouvoir admettre un trafic poids lourd moyen supérieur à 4 000 véhicules/jour dans les deux sens. Abris et sorties de secours sont à installer environ tous les 200 m pour un tunnel urbain, tous les 400 m pour les tunnels non urbains de plus de 500 m.



© Wilfried Masy/REA

« Abris et sorties de secours sont à installer environ tous les 200 m pour un tunnel urbain, tous les 400 m pour les tunnels non urbains de plus de 500 m. » *Issue de secours dans un tunnel routier.*

Une installation de désenfumage est obligatoire pour les tunnels urbains, les tunnels non urbains de plus de 500 m qui ne sont pas à faible trafic et les tunnels à faible trafic de plus de 1 000 m.

La ventilation longitudinale est préférable dans les tunnels non urbains, déconseillée pour les urbains de plus de 500 m. Pour les bidirectionnels, elle est à proscrire en urbain et est possible en non urbain jusqu'à 1 000 m pour un trafic non faible, 1 500 m s'il est faible.

Une surveillance humaine permanente est obligatoire pour les tunnels urbains de plus de 1 000 m et les tunnels non urbains de plus de 3 000 m qui ne sont pas à faible trafic.



Technique. Hiérarchiser les conséquences de ces écarts, analyser les travaux nécessaires pour les réduire, imaginer et tester des mesures compensatoires pour ceux jugés trop difficiles à éliminer, tel devait être, en fait, un des rôles clés de l'ESD.

### LA LOGIQUE DU RECOURS À DES SCÉNARIOS PROBABILISÉS ET LEUR STANDARDISATION

Il est dit dans la circulaire qu'un certain nombre de règles de l'Instruction Technique sont fixées en fonction de la résistance de l'ouvrage face à deux scénarios dits de dimensionnement : l'incendie d'un poids lourd dégageant 30 MW (dont les autres caractéristiques sont précisées) et l'incendie d'un camion-citerne d'hydrocarbures dégageant 200 MW. Mais aucune autre précision n'est donnée sur la justification des règles.

Les ESD et les ACR sont, quant à elles, essentiellement fondées, dans une démarche plus explicitement scientifique, sur des analyses de nombreux scénarios, avec leur déroulement chronologique détaillé, scénarios dont on cherche ensuite à quantifier la gravité et la probabilité.

Le logiciel EQR peut, pour sa part, calculer, pour chaque tunnel, le nombre de morts pour treize scénarios « matières dangereuses/modes de conditionnement/événement » jugés « représentatifs » des cas les plus dangereux : feux d'hydrocarbures, explosions dues à du GPL en bouteilles ou en citerne, rejets d'ammoniac... Il faut ensuite tenir compte de la composition du trafic de matières dangereuses, en essayant de rattacher ce trafic aux scénarios représentatifs de l'EQR (5).

Au final, on obtient, pour un itinéraire donné, les fréquences annuelles  $F(N)$  d'occurrence des scénarios causant  $N$  morts ou plus et la valeur de ce que l'on appelle « l'Espérance Mathématique » du nombre de morts, qui est simplement la moyenne des nombres de morts pondérés par leurs fréquences (voir, en figure 1, des courbes  $F(N)$  représentées en coordonnées logarithmiques ; la fréquence annuelle d'un incendie de supercarburant faisant trente morts ou plus est, par exemple, dans le tunnel considéré, de l'ordre de  $10^{-9}$ , soit de un sur un milliard).

À partir de la comparaison des Espérances Mathématiques et des courbes  $F(N)$  des itinéraires, il s'agit ensuite de décider lequel de ces itinéraires est le plus sûr pour le transport de marchandises dangereuses (6).

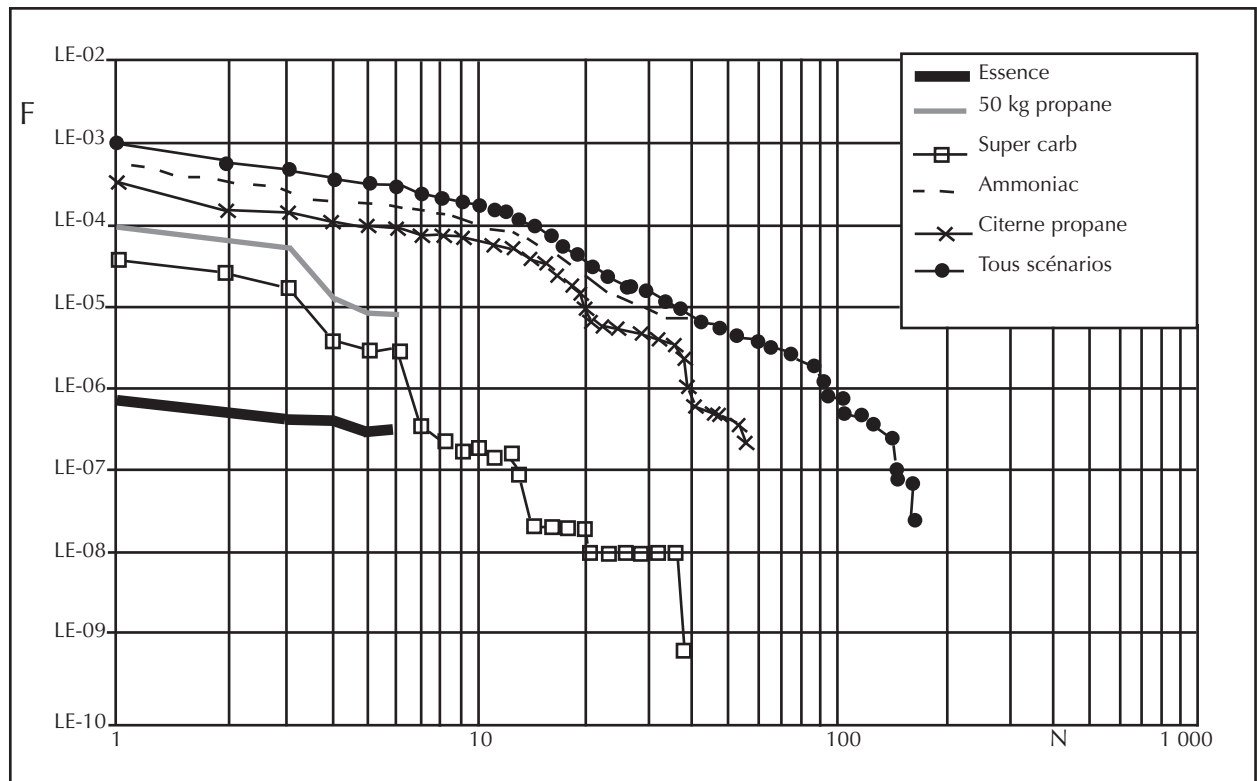


Figure 1 : Exemple de fréquences annuelles de catastrophes impliquant des matières dangereuses

(5) Il existe une nomenclature ONU des matières dangereuses comportant des milliers de rubriques elles-mêmes regroupées en classes de danger repérées par un code à deux chiffres. Mais on n'a pas vraiment de table de correspondance complète et fiable entre ces codes et les scénarios EQR.

(6) Cette problématique se complique si la décision à prendre n'est pas du tout ou rien, avec interdiction ou autorisation du passage par le tunnel : interdiction de seulement certaines matières dangereuses, à partir d'une certaine quantité, à certaines heures, passage en convois accompagnés en interdisant, entre-temps, le trafic des autres véhicules ...

En ce qui concerne les ESD déjà réalisées analysées par le groupe de travail, on trouve souvent une forme simplifiée de la démarche scientifique de l'EQR : les scénarios étudiés sont répartis à l'intérieur d'une simple matrice « probabilité d'occurrence x gravité », dite de criticité, dans laquelle sont définies, par ailleurs, des cases de risque inacceptable.

Ces matrices sont de dimensions variées (souvent 5x5), les définitions données des classes de probabilité et de gravité (quantifiées ou non) fluctuent, ainsi que le choix des zones d'acceptabilité. Sont parfois aussi calculés des indices de criticité (Fréquence x Gravité). Ces matrices ont l'avantage d'être plus parlantes pour les non initiés (comme, par exemple, un préfet) que les courbes F(N), mais leurs variables de catégorisations sont des plus floues et le produit de ces variables ne peut être qualifié de scientifique... Le groupe de travail n'a pas souhaité dissuader le recours à ces matrices, mais il a recommandé de s'en servir uniquement comme d'un simple outil de dégrossissage, pour le seul choix des événements « déclenchants » des scénarios destinés à être étudiés par l'ESD et, au passage, il a standardisé la forme de ces matrices.

Le groupe de travail a également recommandé que toutes les ESD examinent cinq scénarios d'incendie standardisés se produisant à l'endroit le plus défavorable du tunnel concerné, les conséquences possibles de ces événements devant ensuite être déclinées en fonction d'un nombre limité d'éléments aggravants choisis parmi le spectre potentiellement très vaste de tels événements (par exemple, un sur-accident, une panne d'équipement concomitante...), événements que l'on ne cherchera pas à probabiliser pour éviter une combinatoire trop complexe.

Pour ces scénarios, le groupe (qui comprenait des spécialistes du CETU de la modélisation de la ventilation et de ses effets sur les fumées) convergea rapidement vers la conclusion que le guide devait décourager l'utilisation systématique des modèles les plus sophistiqués en 3D, ce que faisaient certains bureaux d'étude voulant être « au meilleur niveau scientifique ».

À partir des études disponibles à l'INERIS, on standardisa aussi les courbes d'évolution dans le temps des puissances de ces incendies et de leurs consommations en oxygène, les seuils de survie aux expositions aux gaz toxiques (en concentration dans l'atmosphère et en durée d'exposition), les durées d'évacuation des véhicules (une minute et demi pour les automobiles, cinq minutes pour les autocars), la vitesse de marche (0,5 m/s à 1 m/s selon la visibilité et les personnes) et même en intégrant la probabilité d'une marche à l'aveugle, dans la mauvaise direction (50 %)... On standardisa également les calculs des débits de véhicules saturant le tunnel et des phénomènes de formation de bouchons à partir de formules empiriques proposées par l'Institut National de Recherche sur les Transports et la Sécurité (INRETS).

Nous allons voir à présent que la comparaison d'itinéraires de l'ACR – une notion qui semblait aller de soi – a dû être elle aussi clarifiée par le groupe.

## LES PARADOXES LOGIQUES DES COMPARAISONS D'ITINÉRAIRES

Le logiciel EQR nécessite le recueil d'un nombre très important de données non seulement sur le tunnel, mais aussi sur les itinéraires alternatifs à l'air libre : leurs trafics et leurs taux d'accident par tronçon, la densité d'habitants à proximité, mais aussi la présence d'écoles, de centres commerciaux (avec leurs horaires d'ouverture)... Le groupe de travail a estimé qu'il fallait ainsi réserver l'ACR aux tunnels pour lesquels cela était vraiment pertinent et, pour ces derniers, aux itinéraires alternatifs les plus « crédibles ».

La circulaire admettait déjà que l'on procédât à une simple comparaison qualitative pour les tunnels « non urbains » de moins de 500 m de longueur, en bidirectionnel, et de 800 m de longueur, en unidirectionnel. Le groupe de travail suggéra de raffiner le champ d'application de l'EQR en procédant d'abord au calcul de l'Espérance Mathématique pour le seul trajet à l'intérieur du tunnel, ce qui donnait son risque intrinsèque. On ne comparerait ensuite des itinéraires complets, passant ou non par le tunnel, que si ce risque intrinsèque dépassait un certain seuil (> 0,001) : inutile de chercher d'alternative si le tunnel est très peu dangereux (7)... À proximité du seuil, des études de sensibilité étaient recommandées pour éviter l'« effet de seuil ».

Quant au choix des itinéraires alternatifs à étudier, il faut essayer d'anticiper les choix que feront les transporteurs, compte tenu de leurs couples « origine x destination » si le tunnel leur est interdit (un exercice délicat...) et éviter d'étudier des itinéraires où l'on pense que peu de trafic se reportera. Il faut aussi éviter de comparer (comme cela était fait) deux itinéraires chacun très long, car la contribution du risque intrinsèque du tunnel dans le risque de l'itinéraire devient alors négligeable. En fait, de façon un peu paradoxale, on compare alors simplement deux itinéraires à l'air libre.

Un autre paradoxe interviendrait si l'on comptait également dans l'Espérance Mathématique les simples accidents de la route (de probabilités en moyenne dix fois plus grandes) où la matière dangereuse transportée ne joue aucun rôle. De fait, on ne compare plus alors que la classique sécurité routière des itinéraires. Après un long débat, le groupe convint alors de recommander de ne prendre en compte ce type d'ac-

(7) Le seuil a été fixé après une analyse approfondie par le groupe de la quarantaine d'ACR déjà réalisées.

cident que pour départager des itinéraires jugés quasi équivalents d'après l'EQR.

Restait alors à déduire des calculs des ACR la meilleure décision à prendre, un point qui a été largement débattu par le groupe.

## LA TENTATION DU RECOURS À DES OUTILS FORMALISÉS D'AIDE À LA DÉCISION

Que conclure des résultats fournis par l'EQR, les Espérances Mathématiques et les courbes  $F(N)$  ? Si l'on se fie au seul critère de l'Espérance Mathématique, il faut déjà que les écarts soient significatifs, compte tenu des incertitudes liées aux simplifications du modèle. Selon ses concepteurs (présents dans le groupe), il faudrait qu'une Espérance Mathématique soit plus de dix fois supérieure à l'autre pour pouvoir trancher valablement, à défaut de quoi des études de sensibilité ou le recours à d'autres critères (par exemple, la simple sécurité routière, déjà citée, les coûts pour les transporteurs...) s'imposent.

Mais le groupe de travail s'est aussi penché sur un problème de fond, classique dans la théorie de la décision dans l'incertain : la prise en compte de « l'aversion au risque ». Celle-ci traduit, en gros, le fait que deux scénarios d'Espérances Mathématiques égales ne sont pas forcément perçus de la même manière par le décideur si l'un des deux comporte des risques très importants, même si la probabilité en est faible. Dans le cas des ACR, il faudrait alors tenir compte du poids relatif des scénarios les plus catastrophiques, ce qui se voit avec le profil des courbes  $F(N)$ . Si, en traçant sur un même graphique les courbes  $F(N)$  de deux itinéraires, ces courbes se croisent, on a alors affaire à deux profils bien différents en termes d'aversion au risque.

Mais comment quantifier l'aversion au risque ? La théorie de la décision en univers incertain (8), bien connue de certains membres du groupe, modifie pour cela le calcul de l'Espérance Mathématique en y conférant, grâce à une fonction spécifique à chaque décideur, une pondération plus élevée aux événements les plus graves. Cela est fait par certains, de façon assez arbitraire, en élevant simplement le nombre de morts au carré... Mais cela déplace la difficulté vers la justification du choix de la pondération, surtout s'il s'agit non pas d'enjeux monétaires et d'un décideur bien identifié, comme dans la théorie de la décision standard, mais de nombres de morts et d'un décideur complexe, incluant l'opinion publique (9). Autrement dit : un mort tous les ans est-il équivalent, et pour qui, à dix morts tous les cent ans, ou encore à cent morts

tous les dix mille ans ? Le groupe de travail n'a pas voulu s'engager dans cette voie où il aurait fallu spéculer sur les réactions de l'opinion publique et leur prise en compte par l'Administration. À partir de quel nombre de morts simultanées jugera-t-on une catastrophe intolérable ? Ce nombre varie-t-il selon les circonstances (incendie en tunnel ou explosion d'une conduite de gaz en ville) ? Les morts dans une école devant laquelle a explosé un transport de matières dangereuses ont-ils le même poids que si l'explosion avait eu lieu dans un tunnel où les usagers étaient censés être au courant des risques qu'ils prenaient ?

Dans la même logique pragmatique que précédemment, le groupe recommanda simplement de ne prendre en compte l'aversion au risque, en examinant la forme des courbes  $F(N)$ , que si le critère de l'Espérance Mathématique n'était pas discriminant, et de le faire de façon purement qualitative.

Après ces diverses questions de principe, il nous faut maintenant revenir au problème de l'origine et de la fiabilité des probabilités utilisées à des degrés divers dans les tentatives à visée plus scientifique.

## LES CALCULS DE FRÉQUENCES D'INCIDENTS

On dispose de statistiques assez fiables sur les fréquences de pannes et d'accidents de la route (ces fréquences étant d'ailleurs plus basses en tunnel que sur l'ensemble du réseau routier et, pour les transports de marchandises dangereuses, moins élevées que pour les poids lourds ordinaires : paradoxes apparents...). À l'opposé, pour la probabilité de certains événements très exceptionnels considérés par le logiciel EQR, on ne dispose d'aucune statistique utilisable. Ainsi, par exemple, la probabilité conditionnelle qu'une fuite entraîne l'explosion d'un nuage de vapeurs de supercarburant, sachant qu'un accident a provoqué une brèche dans la citerne, est évaluée simplement « à dire d'experts ».

Pour les fréquences d'incendies en tunnel, le cas est intermédiaire. On a des données, mais les fréquences sont calculées sur un échantillon très réduit de tunnels observés sur une durée limitée, avec des nombres d'événements assez faibles (10). Elles varient notablement selon les sources, où, de plus, souvent, seuls les incendies « importants » (définition variable..) sont recensés. Par ailleurs, les statistiques d'incendies sur l'ensemble du réseau routier, *a priori* plus fiables, sont en fait incomplètes, sauf s'il y a eu collision, car elles n'intéressent que faiblement la Sécurité routière. De plus, elles ne sont pas forcément transposables sans précautions aux tunnels.

(8) Voir, par exemple, *Analyse de la décision*, RAIFFA, Dunod, 1973.

(9) Le groupe de travail ne s'est pas engagé dans des discussions de principe sur la légitimité du concept de « coût de la vie humaine ».

(10) Dans une étude du CETU de 1998 portant sur un échantillon de 28 tunnels français, 31 incendies sont répertoriés, mais un seul concerne les trois tunnels urbains de l'échantillon, et on n'a aucune donnée sur les tunnels situés sur des routes nationales ou départementales.

Le groupe de travail, après débats avec ceux qui déniaient *a priori* toute pertinence aux calculs probabilistes, a néanmoins estimé que ces fréquences constatées dessinaient des plages de « vraisemblance », qu'il serait peu pertinent de refuser de prendre en compte, par purisme. Le guide a ainsi fourni aux bureaux d'études les probabilités d'incendie à utiliser pour rendre les études au moins comparables entre elles, dans la démarche générale de standardisation déjà évoquée précédemment. Il s'agit des taux de fréquences d'incendies pour 100 millions de véhicules par kilomètre, selon qu'il s'agit d'un véhicule léger (VL), d'un poids lourd (PL) ou d'un transport de marchandises dangereuses (TMD) avec, dans chaque cas, trois valeurs possibles selon le contexte : tunnels autoroutiers et/ou urbains sans déclivité particulière d'accès, trajets autoroutiers en relief accidenté ou sur routes nationales, trajets d'accès exceptionnellement éprouvants (du type Mont-Blanc, Fréjus).

Pour obtenir la fréquence annuelle d'incendies, on multiplie alors les taux ci-dessus (qui vont de 0,5 à 13,5) par le nombre de véhicules par kilomètre annuel. Ce raisonnement, selon lequel le risque est proportionnel au produit de la longueur par le trafic, est bien commode. Mais, pour les incendies spontanés, on devrait aboutir, dans les tunnels courts, hors cas de congestion, à des probabilités bien plus faibles que celles qui sont données par un tel calcul, si l'on prend en compte le réflexe du chauffeur de sortir d'abord du tunnel avant de s'attaquer au début d'incendie et la distance minimum nécessaire pour s'arrêter (11). Dans le cas d'un incendie provoqué par une collision (environ un incendie sur trente), on sait, par ailleurs, que les collisions sont plus fréquentes au début, ou en fin, d'un tunnel qu'en son milieu.

Compte tenu de la dispersion statistique des trafics, des longueurs et des taux, on obtient alors des écarts de fréquences annuelles très importants entre tunnels allant au minimum de 1 à 0,001 (pour les seuls incendies de poids lourds). On serait tenté d'en déduire que la fréquence est d'un incendie en moyenne par an pour le tunnel le plus dangereux et d'un incendie en moyenne tous les 1 000 ans pour le moins dangereux. Cette présentation en « temps de retour » de l'incendie, évidemment très parlante, a souvent été mise en avant pour relativiser les risques. Par exemple, pour la fréquence de  $10^{-9}$  calculée pour un tunnel par le logiciel EQR pour les scénarios d'incendie d'une nappe de supercarburant faisant plus de trente morts, cela donne un milliard d'années, temps de retour que d'aucuns comparaient, au nom du bon sens, à la durée de vie de l'ouvrage... (De fait, tous les ans, la probabilité que cette catastrophe se produise est la même : ce piège classique des raisonnements probabilistes est relevé par le guide).

(11) Le guide a ainsi proposé de supposer que ce sera le cas si l'incendie se déclare à moins de 200 m de la sortie du tunnel.

L'utilité des fréquences données par le guide, dont on a vu la fragilité de leurs fondements statistiques, est, selon le groupe de travail, surtout de permettre un classement, en relatif et non dans l'absolu, des dangers des différents tunnels. Pour le groupe, cela exclut en particulier d'essayer de comparer quantitativement ces dangers à ceux d'autres secteurs à risque, comme on serait tenté de le faire, pour montrer, par exemple, que les tunnels ne sont pas, en relatif, particulièrement dangereux (ce qui est tout à fait plaidable...).

## DU TRAVAIL COLLECTIF AUX APPRENTISSAGES

Les guides insistent sur le fait qu'il fallait éviter le risque que les ESD et les ACR soient des corvées simplement sous-traitées à un bureau d'études. L'exploitant doit évidemment s'impliquer fortement dans le choix des scénarios de l'ESD et des leçons à en tirer. Il faut également impliquer pompiers et services de secours. Le dossier de sécurité doit aussi rester vivant grâce à une interaction entre les scénarios de l'ESD, le retour d'expérience sur les événements qui se sont produits en tunnel, qui peuvent enrichir ces scénarios, et les exercices de sécurité réguliers, devenus obligatoires, pouvant eux-mêmes s'inspirer des scénarios de l'ESD.

Finalement, pour le groupe de travail, le client principal du dossier de sécurité, au-delà du Comité d'évaluation, est l'exploitant lui-même. En effet, l'ESD, où le tunnel et les hommes qui y interviennent sont confrontés à différents scénarios d'incidents possibles, aide l'exploitant à mieux comprendre la façon dont ce système très complexe réagit (des réactions qui peuvent n'avoir rien d'intuitif) et à identifier, dans un processus d'apprentissage collectif, les points vraiment essentiels de la sécurité.

Le dossier de sécurité doit évidemment tirer parti des avancées de la connaissance scientifique et des nouveaux outils que l'on peut en tirer, et la prudence du groupe de travail ne venait pas d'un scepticisme généralisé devant l'utilité des recherches sur les modèles. Mais, au total, c'est l'usage effectif du dossier par les acteurs de terrain (jusqu'à l'opérateur du poste de commande de la ventilation dont les erreurs peuvent avoir des conséquences dramatiques), plus que le degré de scientificité, qui lui a paru essentiel, ce qui est dans la lignée de l'abondante littérature sur l'importance des facteurs humains et organisationnels dans la gestion des risques (12).

Le Comité d'évaluation institué par la circulaire a, à cet égard, un rôle clé à jouer. Un collectif vient lui soumettre le dossier de sécurité, défend les conclusions pour l'action qui en ont été tirées. Ce collectif

(12) Pour un panorama critique, voir ROLINA (G.), « Prescrire la sûreté, négocier l'expertise », *Gérer et Comprendre*, n°101, 2010.



est composé de l'exploitant et de ses collaborateurs, accompagnés du bureau d'études, des pompiers et de la gendarmerie. Tous ont travaillé, avant la réunion, avec le rapporteur désigné en son sein par le Comité. Ce temps fort du passage devant le Comité est d'autant plus impliquant que le préfet concerné (ou son représentant) assiste à la réunion. Ce dispositif d'interactions fortes entre évaluateurs, évalués et décideurs, pourrait servir de modèle pour bien des processus d'évaluation. On peut le rapprocher, par exemple, des pratiques d'évaluation de la sécurité des centrales nucléaires, en France (qualifiée péjorativement de « *french-cooking* » par les anglo-saxons), des pratiques où un dialogue technique serré est maintenu entre exploitants, experts évaluateurs et l'Autorité de Sécurité Nucléaire (13).

Le Comité est aussi le lieu où sont pesées, en confrontant diverses expertises, toutes les marges de liberté et d'interprétation laissées volontairement par les guides, et même par l'Instruction Technique. C'est aussi le lieu où prendre en compte les multiples spécificités de chaque tunnel et arbitrer sur les problèmes inattendus qu'il peut poser. Ces arbitrages constituent alors une jurisprudence pour les cas suivants, une jurisprudence dont le Comité tient un relevé minutieux (on trouvera, dans l'encadré ci-contre, un exemple de débat du Comité d'évaluation).

## GÉRER UNE RÉFORME SUR LA DURÉE

On sait que toute réglementation doit éviter deux écueils : être trop précise et contraignante, ou être trop générale (et ouvrir la voie aux interprétations les plus diverses). Nous avons vu que, finalement, dans les deux cas, elle pouvait néanmoins constituer un choc initial utile, poussant, dans le cas qui nous intéresse ici, à une démarche plus scientifique. Mais c'est à la condition que le processus d'apprentissage collectif à enclencher soit prévu et organisé et que la durée qu'il nécessite soit prise en compte. Le Comité d'évaluation institué, le groupe de travail qu'il a lancé, la composition de l'un et de l'autre et leurs modes de fonctionnement ont, semble-t-il, été déterminants pour cela.

Comment le groupe de travail, assez composite, a-t-il fonctionné ? En fait, des concepteurs de modèles passionnés par cette activité ont été les premiers à souligner la prudence nécessaire dans leur utilisation et leurs limites actuelles. De même, des polytechniciens ont été les premiers à demander des choses simples et opérationnelles, et les bureaux d'étude à se féliciter

(13) Voir ROLINA (G.) 2010 (*op. cit.*) ou, pour des usines chimiques, DUPRÉ (M), ÉTIENNE (J.) & LE COZE (J.-C.), « L'interaction régulateur/régulé : considérations à partir du cas d'une entreprise Seveso II seuil haut », *Gérer et Comprendre*, n°97, 2009.

## EXEMPLE DE DÉBAT DU COMITÉ D'ÉVALUATION

Le Comité d'évaluation a examiné le cas d'un projet de déviation contournant une petite ville, qui comporte un tunnel. L'ACR a conclu que l'itinéraire le plus sûr pour les Transports de Marchandises Dangereuses (TMD), et de loin, est celui traversant la ville (un autre itinéraire en théorie envisageable est exclu car il passe, lui, par un tunnel actuellement interdit aux TMD, interdiction qui semble des plus justifiées). Cette conclusion, qui pourra heurter le sens commun, ne semble guère raisonnable aux membres du Comité. Par ailleurs, le Comité note qu'une fois la déviation ouverte, l'itinéraire par la ville sera déclassé, le pouvoir de police sur celui-ci passera alors au maire, qui pourra y interdire les TMD...

Des membres du Comité proposent alors de chercher plutôt à augmenter la sécurité du tunnel, mais un expert membre de l'INERIS note que le logiciel EQR a montré que diverses mesures déjà envisagées, dont l'augmentation du nombre d'issues d'évacuation à l'air libre, facile dans ce tunnel de type tranchée couverte, ne servaient en fait pas à grand chose. Certains proposent alors, par exemple, de faire transiter les TMD en tunnel la nuit, de passer à une surveillance permanente, ou encore d'augmenter à 100 m l'inter-distance des véhicules. Le bureau d'études fait remarquer que cette dernière mesure n'est pas trop difficile à mettre en œuvre, car les TMD concernent surtout des transports réguliers d'hydrocarbures pour la proche région, venant tous du même dépôt et effectués par un petit nombre de sociétés, qu'il est donc facile d'informer et de sensibiliser.

Le Comité conclut que le « verdict » de l'EQR, qui doit être pris en compte, conduit à demander un nouvel examen du dossier par le Comité, avec des mesures d'amélioration du tunnel pour le rendre au moins équivalent, en termes de sécurité, au trajet en ville, trajet que le Comité exclut.

que le groupe recommande l'usage de standards brisant leur liberté... Il n'y a pas non plus à trop s'étonner, ce consensus venant aussi du fait que le groupe avait choisi de longuement creuser chaque exemple d'ESD et d'ACR déjà réalisées et que certains de ses membres avaient une énorme expérience de terrain, « connaissaient par cœur » les tunnels et leur histoire : des évidences partagées finissent par émerger de faits incontournables mis sur la table... Une de ces évidences a été qu'en matière d'études, il fallait aussi être « économe » et ne lancer une étape supplémentaire d'approfondissement, aussi séduisante intellec-

tuellement qu'elle soit, que si elle avait une valeur ajoutée avérée pour les décisions à prendre...

Si un temps très important a été ainsi consacré par le groupe à la rédaction détaillée des guides, c'était non pas tant pour en négocier les formulations dans le souci de la recherche d'un compromis ou parce qu'ils étaient appelés à devenir des références de fait incontournables, mais pour rendre ces guides le plus pédagogique possible pour leurs divers utilisateurs allant des préfets aux bureaux d'études. Il s'agissait d'essayer d'expliquer non seulement le « comment », mais aussi le « pourquoi », gage d'efficacité (des explications dont une circulaire n'a évidemment pas trop à se préoccuper).

## UN PHÉNOMÈNE GÉNÉRAL DE TENSION ENTRE DEUX LOGIQUES

Le cas, que nous avons présenté, de ce qui s'est passé au niveau réglementaire et au niveau des études de risques après la catastrophe du tunnel du Mont Blanc, présente certes de nombreuses particularités. Mais il n'est pas interdit de tenter des comparaisons avec les suites données à d'autres catastrophes ayant marqué l'opinion, que ce soit en matière de durcissement immédiat de prescriptions autoritaires ou en matière de lancement de lourdes études se voulant toujours plus scientifiques et ambitionnant, elles, contrairement à leurs devancières, de prendre finement en compte les spécificités de chaque contexte.

On peut ainsi, par exemple, s'interroger, avec ces grilles d'analyse, sur le cas des risques de submersion marine, qui rentre dans la catégorie générale des PPR

(Plans de Prévention des Risques), où l'on retrouve en fait un certain nombre d'ingrédients de la problématique présentée ici (14). Citons, sans les hiérarchiser, les modélisations physiques que l'on peut raffiner à l'infini (vitesses et hauteur des vagues, effets des contours du littoral...), les probabilités, très faibles, à cerner (celles d'une tempête de tel type et ayant telle trajectoire, de sa concomitance avec une grande marée, à telle heure de la journée...), la question de l'efficacité des systèmes d'alerte et des délais d'arrivée des secours, les incertitudes sur le comportement des personnes en danger et les modalités de leur information, les effets de seuil de la définition réglementaire des zones à risque et leur contestation, l'effet sur l'opinion publique du nombre de morts simultanées dans des conditions spectaculaires, les difficultés d'application au bâti existant de nouvelles règles...

On pourrait chercher à y retrouver à l'œuvre des logiques analogues à celles de l'Instruction Technique (garde-fou un peu arbitraire) et des Études Spécifiques de Danger (examen au cas par cas de scénarios très détaillés) et y rechercher un acteur arbitre « éclairé » équivalent au Comité d'évaluation que nous avons décrit.

Dans de nombreux cas, la tentation peut être grande, dans une logique « d'hyper-rationalité », de multiplier et de raffiner des analyses de scénarios dans chaque contexte, puis d'essayer de conforter les choix par des probabilisations de plus en plus pointues. À l'inverse, la tentation, pour ceux qui sont en charge de la réglementation des risques, est de ne pas rentrer dans le foisonnement des cas particuliers et de s'appuyer sur des heuristiques pragmatiques suffisamment générales, des règles et des procédures simples, mais robustes. Les voies médianes qui s'imposent pour réduire efficacement les risques résiduels et la façon de les explorer ne sont peut-être pas assez étudiées. Il s'agit, de fait, d'arriver à mettre en tension, au concret, deux types de rationalité. ■

(14) Plus diverses complexités juridiques spécifiques. Voir, par exemple GODFRIN (V.), 2008, *Le Cadre juridique de la gestion des risques naturels*, Éd. Lavoisier, Coll. Sciences du risque et du danger.