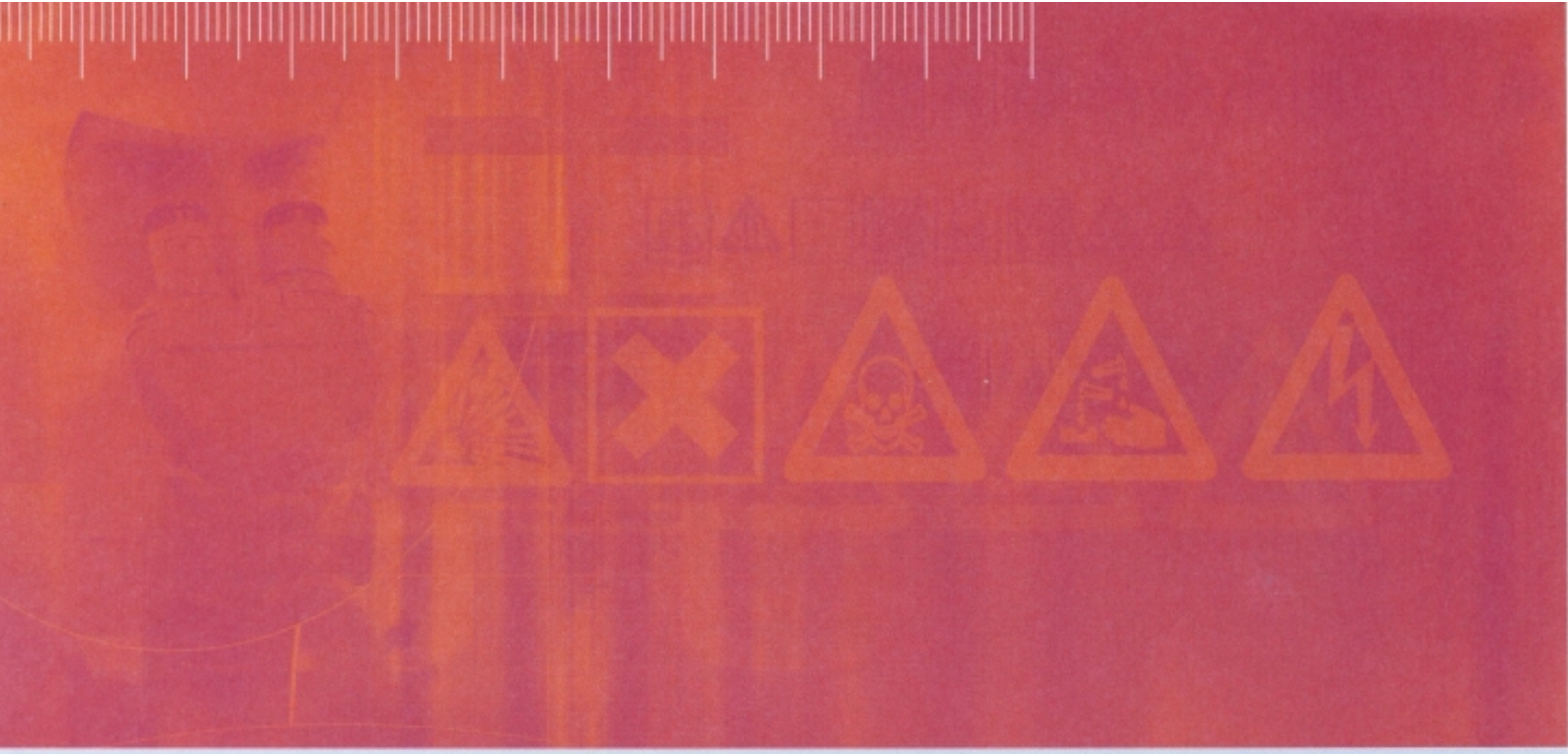

RAPPORT D'ÉTUDE 24/07/2018

N° DRA-18-164468-06797A

ÉVALUATION DE RISQUES LE LONG D'UN ITINERAIRE DE TRANSPORT DE MARCHANDISES DANGEREUSES (TMD)

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Évaluation de risques le long d'un itinéraire de transport de marchandises dangereuses (TMD)

Direction des Risques Accidentels

Verneuil-en-Halatte (60)

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Marine DELAMOTTE, Clément LENOBLE, Thomas MARCON, Valérie DE DIANOUS

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Étant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Relecture	Approbation
Nom	Marine DELAMOTTE Valérie DE DIANOUS	Franck PRATS	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieures Unité quantification des risques et évaluation des barrières de sécurité Direction des Risques Accidentels	Référent technique au pôle Analyse et Gestion Intégrées des Risques Direction des Risques Accidentels	Responsable du pôle Analyse et Gestion Intégrées des Risques Direction des Risques Accidentels
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

1 INDICATEURS DE RISQUES 5

2 PARAMÈTRES CONSIDÉRÉS POUR UNE ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES (QRA) 7

2.1 Paramètres pour le risque individuel 7
2.2 Paramètres pour le risque sociétal 10
2.3 Comparaison d'itinéraires 12

1 INDICATEURS DE RISQUES

Cette note présente des indicateurs de risques utilisés pour mener des évaluations quantitatives de risques (QRA) dans le cadre du Transport de Marchandises Dangereuses (TMD) et pour comparer des itinéraires.

La note rappelle les paramètres pris en compte pour déterminer ces indicateurs de risques.

Deux indicateurs de risques peuvent être utilisés :

- **Le risque individuel**

  Le risque individuel représente le risque en un point donné. Il correspond à la probabilité annuelle pour une personne supposée présente et sans protection, de mourir suite à l'occurrence d'un phénomène accidentel survenu dans une installation ou le long d'un itinéraire ayant pour conséquence le rejet de substances dangereuses.

  Le risque individuel est représenté graphiquement par des contours de risques autour de l'installation ou de l'itinéraire (cf. Figure 1) : la zone entre deux courbes correspond à une plage de probabilité d'occurrence annuelle.

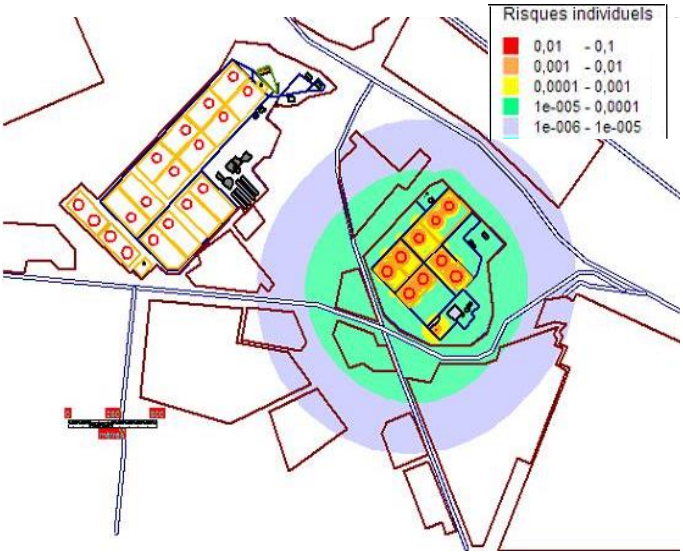

Figure 1 : Exemple de représentation du risque individuel autour d'une installation

Le risque individuel est communément utilisé pour l'aménagement du territoire autour d'une installation à risques. Il peut être utile pour s'assurer de l'acceptabilité du risque au regard des critères locaux, comme la nature des enjeux (hôpitaux, résidences, …) en un point donné du territoire. Cet indicateur n'est usuellement pas utilisé dans le cadre des activités de transport de matières dangereuses.

- **Le risque sociétal**

  Le risque sociétal correspond à la probabilité annuelle qu'au moins N personnes soient tuées simultanément du fait de leur présence dans la zone d'impact de phénomènes accidentels survenus sur un site ou un itinéraire ayant pour conséquence le rejet de substances dangereuses.

  Le risque sociétal peut être représenté sous forme de courbes Fréquence/Gravité (Courbe F/N). Ces courbes présentent les fréquences d'avoir des accidents faisant N morts ou plus. N est le nombre de décès et F la fréquence cumulée d'accidents avec N décès ou plus. La Figure 2 représente à titre d'illustration une courbe F/N obtenue autour d'une installation.

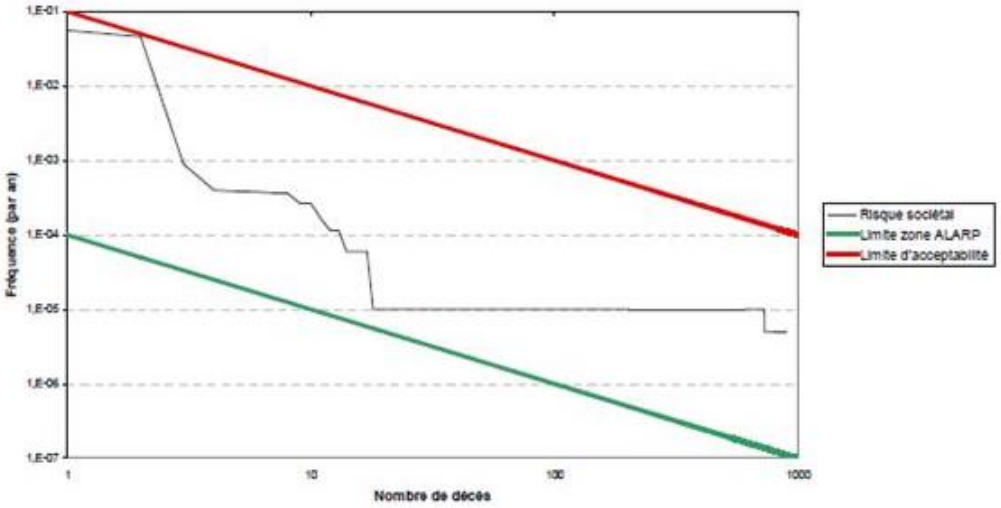

Figure 2 : Exemple de représentation du risque sociétal autour d'une installation

Cet indicateur est couramment utilisé pour la comparaison d'itinéraires concernant les risques liés aux activités de transport routier en France[1]. Il peut aussi permettre de vérifier l'acceptabilité d'une portion d'itinéraire donnée. Il est utilisé également dans d'autres pays pour le risque autour d'installations (Grande-Bretagne et Pays-Bas notamment).

[1] Voir le fascicule 3 du guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers « les analyses des risques liés au transport des matières dangereuses – décembre 2005 : http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_dossier_securite-Fasc_3_cle081e51-1.pdf

2 PARAMÈTRES CONSIDÉRÉS POUR UNE ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES (QRA)

2.1 PARAMETRES POUR LE RISQUE INDIVIDUEL

Pour calculer la probabilité de mortalité en un point donné (risque individuel), différents paramètres doivent être pris en compte :

- fréquence d'apparition du phénomène dangereux (tenant compte de la défaillance des barrières de prévention) ;
- probabilité que ce phénomène génère un effet spécifique (thermique, toxique, surpression…) ;
- probabilité d'exposition à l'effet ;
- probabilité d'impact sur la santé (blessure létale) ;
- probabilité de présence de personnes.

Fréquence d'apparition du phénomène dangereux

L'évaluation de la fréquence débute avec la fréquence d'apparition du phénomène dangereux.

Ce paramètre dépend notamment :

- de la fréquence de la perte de confinement ;
- de la probabilité de défaillance des barrières de sécurité servant à prévenir / mitiger le phénomène dangereux ;
- de la probabilité d'ignition en cas de rejet de substances inflammables : inflammation immédiate ou retardée ;
- des conditions météorologiques : stabilité, vitesse du vent, ... ;
- de la fraction d'énergie de combustion dissipée sous forme d'énergie thermique (dans le cas d'un BLEVE par exemple) ;
- etc.

Pour le risque lié au transport, la fréquence du risque est exprimée en fréquence annuelle par unité de distance (fréquence linéaire).

L'itinéraire est divisé en plusieurs « tronçons élémentaires » de longueur donnée dx. Entre deux points, x et x+dx, il est supposé que la fréquence linéaire est constante ; la fréquence sur le tronçon élémentaire est $F_x = f_{linéaire}.dx$ (figure 3).

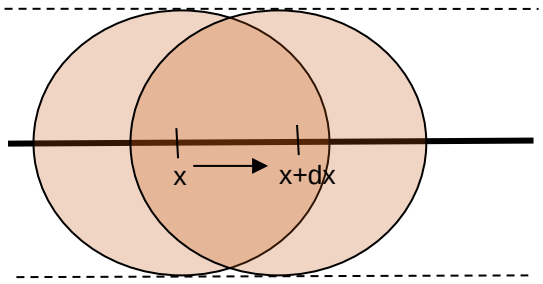

Figure 3

Note : Le choix du « pas élémentaire dx » doit être optimisé au regard des temps de calcul requis et de la précision attendue. En particulier, il peut être nécessaire de choisir un pas assez petit afin de tenir compte de toutes les cibles ponctuelles spécifiques (figure 4).

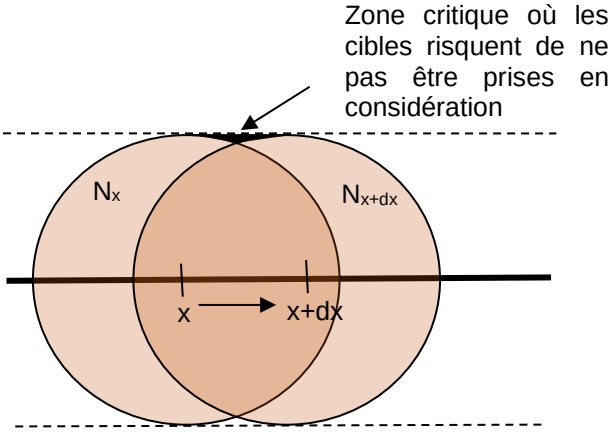

Figure 4

Probabilité d'un effet

Pour un phénomène dangereux donné, tous les types d'effets doivent être considérés (thermique, toxique, surpression…).

Probabilité d'être exposé à un effet

Ce paramètre dépend de la zone d'effets, qui est elle-même inhérente :

- à la probabilité des conditions météorologiques ;
- aux conditions environnementales (température, radiation solaire) ;
- à la direction du vent ;
- à la probabilité d'inflammation immédiate / retardée, à la fraction d'énergie de combustion dissipée sous forme d'énergie thermique etc.

La probabilité d'exposition, pour quelqu'un situé en un point à l'intérieur de la zone d'effets (bande d'effet le long de l'itinéraire), est de 1.

Si la personne est en dehors de cette bande, alors la probabilité qu'elle soit exposée devient nulle (figure 5).

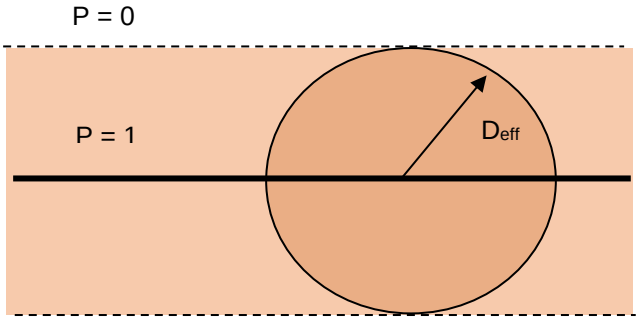

Figure 5

Note : En un point donné, il est possible d'évaluer la fréquence d'être impacté par un effet. Cette évaluation n'est habituellement pas effectuée dans le cadre des évaluations de risques de type QRA sur des itinéraires de TMD. Elle est réalisée pour des évaluations de risques sur les canalisations de transport en France (pour plus d'informations, voir le guide Gesip[2]). Il est nécessaire de définir la longueur L qui peut conduire à impacter quelqu'un :

- Une personne située à un point Y dans la zone d'effets de rayon D_{eff} (de létalité 1% par exemple), sera touchée par le phénomène dangereux si la perte de confinement se produit entre les points A et B de l'itinéraire (figure 6). La longueur d'itinéraire L sur laquelle l'apparition du phénomène pourrait impacter la personne située en y est : $L = 2.\sqrt{(D_{eff}^2-y^2)}$.
- En considérant une fréquence linéaire constante, la fréquence d'impact F_Y au point Y par un effet (supérieur ou égal à 1%) peut être évaluée ainsi :

$$F_Y = f_{lin} \times 2.\sqrt{(D_{eff}^2-y^2)}$$

Avec :

- D_{eff} est la distance d'effets (rayon du cercle d'effets)
- y est la distance minimale entre le point Y et l'itinéraire

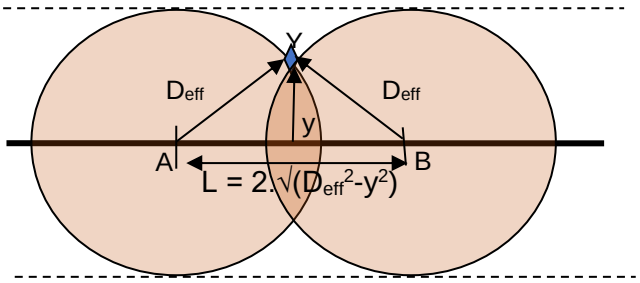

Figure 6

Probabilité d'effets sur la santé (effet létal)

La probabilité de mortalité suite à l'exposition peut être calculée grâce aux fonctions probit. Elles sont relatives au phénomène dangereux observé, ainsi qu'à la dose reçue (inhérente à la distance de la source).

Les pourcentages de létalité sont liés aux distances vis-à-vis de la source. Dans les études QRA, les probabilités de létalité sont évaluées entre la source et une distance maximale correspondant à un seuil de létalité (souvent 1%).

En supposant l'apparition d'un phénomène dangereux en un point x de l'itinéraire, alors la probabilité de létalité d'une personne située au point Y sera de P_x. En un point donné Y, la probabilité P_x dépend donc de la localisation de x (figure 7). Px est évalué pour différentes positions de x en considérant le point Y fixe.

[2] *Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, gaz naturel ou assimilé et produits chimiques) – Guide professionnel GESIP n°2008-01 – Edition de janvier 2014 - http://www.gesip.com/*

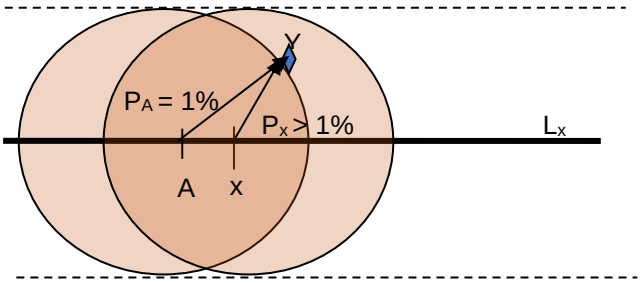

Figure 7

Note : La probabilité de létalité peut prendre en compte la protection éventuelle des personnes susceptibles d'être présentes (équipements de protection, mur, etc.).

Note : Pour le risque individuel, la probabilité de létalité en un point tient compte de la fréquence de létalité d'une personne en un point. Pour cartographier les risques individuels, les courbes iso-risques sont tracées autour des infrastructures en tenant compte de la probabilité de létalité en un point.

Pour le risque sociétal (cf. § 2.2), la probabilité de létalité est seulement l'un des paramètres entrant dans l'estimation du nombre de décès qui pourrait être causé par chaque accident potentiel.

La fréquence, ou plutôt fréquence cumulée, qui est nécessaire à la représentation des courbes F/N (voir § 2.4) n'est donc pas équivalente à la probabilité de létalité du risque individuel.

Probabilité de présence de la population

Pour le risque sociétal, la probabilité de présence de la population dépend de :

- la distribution de présence (jour ou nuit) ;
- de l'occupation exceptionnelle (festivals, campings, stades, etc.).

Risque individuel

Le risque individuel (RI) en un point donné est la somme des produits, pour chaque phénomène dangereux, de la fréquence d'apparition du phénomène dangereux ($F(Scen_{i\text{->}n})$) par la probabilité d'un effet (P_{eff}), par la probabilité d'exposition ($P_{exposition}$), par la probabilité de létalité ($P_{létalité}$) :

$$RI = \sum F(Scen_{i\to n}) * P_{eff} * P_{exposition} * P_{letalité}$$

2.2 PARAMETRES POUR LE RISQUE SOCIETAL

Fréquence d'un accident

La fréquence d'un accident lié à un phénomène dangereux donné et à un effet donné est le produit de la fréquence d'apparition du phénomène dangereux par la probabilité de l'effet (P_{eff}).

$$F = F(Scen_{i\to n}) * P_{eff}$$

Evaluation de la gravité

Pour le risque sociétal, il est nécessaire d'évaluer la gravité de chaque accident (c'est-à-dire le nombre de décès).

Le nombre de décès est calculé pour chaque scénario en considérant en chaque point de la zone d'effet le nombre de personnes exposées, la probabilité de létalité en chaque point et la probabilité de présence de ces personnes.

$$N = \int_{r=source}^{Deff} n_i * P_{presence} * P_{exposition} * P_{létalité} \, dr$$

Le nombre de personnes exposées n_i peut être calculé de la façon suivante :

- En cas de densité de population homogène dans une zone i : le nombre de personnes exposées n_i est le produit de la surface de cette zone d'effets par la densité.
- Si la population n'est pas homogènement répartie, alors la zone d'effets est divisée en mailles homogènes et le nombre de personnes est compté pour chaque maille.

  Il est important de comptabiliser toutes les personnes dans la zone d'effets d'un accident apparaissant en un point. Ce nombre de personnes impactées ne peut être divisé par le nombre de mailles.
- En cas de cibles ponctuelles, elles sont comptées séparément.

Les valeurs p_i sur le schéma (figure 8) représentent différents pourcentages de létalité (ou probabilités de létalité). A partir du nombre de personnes réellement présentes dans la zone d'effets (n_i), le nombre de décès total est calculé.

Dans les QRA simplifiés, l'hypothèse d'un pourcentage de létalité uniforme entre deux zones d'effets peut être faite (figure 8). La valeur moyenne ou maximale du pourcentage de létalité est alors choisie dans la zone considérée. Ces pourcentages de létalité permettent de calculer la gravité de chaque accident N en tenant compte du nombre de personnes n_i présentes dans différentes zones et des différentes probabilités de létalité p_i liées aux distances d'effets :

$N = p_1 \times n_1 + p_2 \times n_2 + p_3 \times n_3$

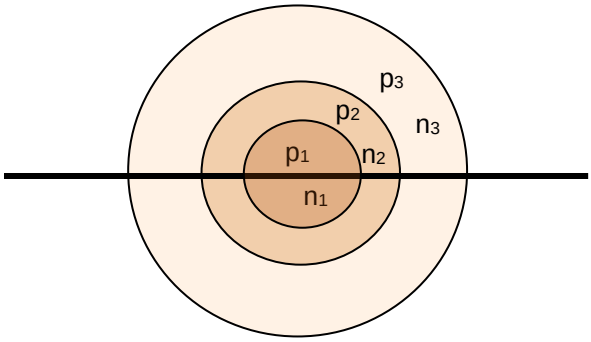

Figure 8

Courbes F/N

Pour tracer les courbes F/N correspondant à un itinéraire, il faut agréger les différents accidents pouvant apparaître le long de l'itinéraire (en différents points x et causant N_x décès pour chaque effet).

Le graphique ci-dessous (figure 9) représente les courbes F/N de différents scénarios pouvant se produire sur un même itinéraire.

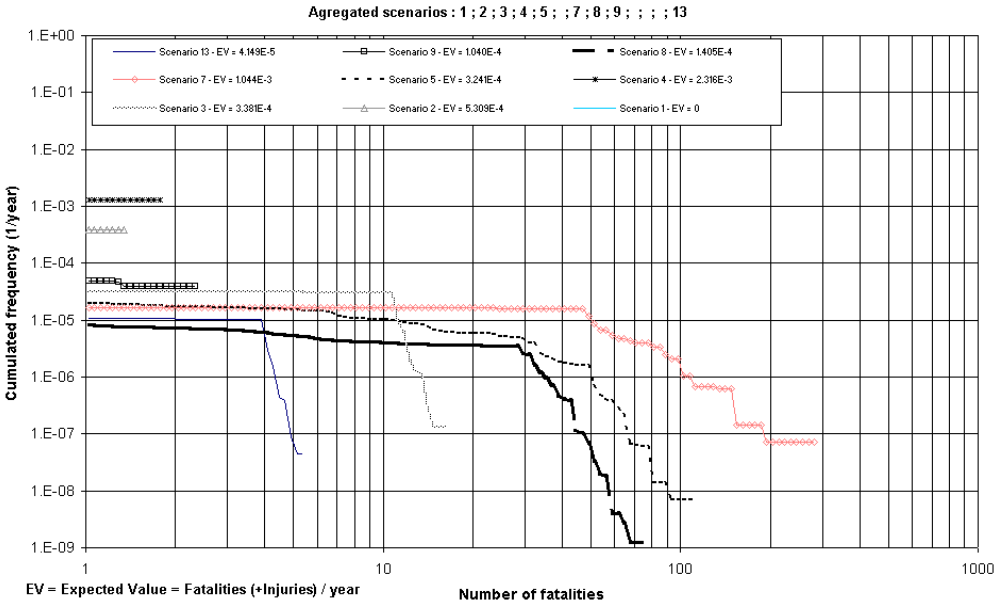

Figure 9

Pour rappel, une courbe F/N est tracée en :

- hiérarchisant les scénarios par niveau de gravité (de N_{max} à N_{min}) ;
- calculant, à partir du scénario de gravité la plus importante, les fréquences cumulées ;
- traçant la courbe F/N grâce aux couples gravité / fréquence cumulée.

Ainsi, pour un nombre de morts N donné, la fréquence lue correspond à la somme des fréquences des accidents menant à au moins N décès.

L'itinéraire est évalué en comparant la courbe F/N aux droites d'acceptabilité lorsque celles-ci ont été définies. Par exemple, ces droites d'acceptabilité ont été définies par le RIVM néerlandais et par le HSE britannique.

2.3 COMPARAISON D'ITINERAIRES

Différents itinéraires peuvent être comparés les uns aux autres en utilisant des courbes F/N.

Lorsque les courbes F/N des itinéraires sont représentées sur le même graphe, si l'une des courbes est clairement « en dessous » des autres sans croisement avec aucune autre courbe, alors l'itinéraire correspondant présente le risque sociétal le plus bas.

Dans tout autre cas, un indicateur global peut être utile pour choisir l'itinéraire le moins risqué, en sus des considérations socio-économiques.

Différents indicateurs de comparaison ont été trouvés dans la littérature.

L'espérance mathématique

L'espérance mathématique E correspond à l'aire sous la courbe F/N, qui est calculée grâce à l'intégrale suivante :

$$E = \int_{f_i=f_{min}}^{f_{max}} N_i df$$

avec :

- E : l'espérance mathématique d'avoir N morts par an sur le tronçon étudié
- f_i : fréquence cumulée d'avoir N_i morts
- N_i : nombre de morts.

Comparer les espérances mathématiques des courbes F/N de différents itinéraires permet de déterminer le moins risqué : ce sera celui à l'espérance mathématique la plus basse[3]. Cependant, si les valeurs des espérances mathématiques sont proches, aucune conclusion ne pourra être tirée.

Il s'agit d'un indicateur qui correspond à une vision globale du risque sociétal et qui ne prend généralement pas en compte l'aversion aux catastrophes : un accident faisant 1 mort tous les ans a le même poids qu'un accident faisant 100 morts tous les 100 ans.

Comparaison des aires entre la courbe d'acceptabilité et la courbe F/N

Un autre indicateur proposé pourrait être de calculer les aires entre la courbe d'acceptabilité et chacune des courbes F/N pour ensuite comparer les valeurs.

Sources :

[1] Cassini, (1998). Road transportation of dangerous goods: quantitative risk assessment and route comparison.

[2] CCPS (1998). Tools for making acute decisions with chemical process safety applications. Cost-benefit analysis p.190.

[3] CETU (2005). Fascicule 3 du guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers « Les analyses des risques liés au transport des matières dangereuses ».

[3] Des règles de comparaison sont présentées dans le fascicule 3 du guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers : un ratio supérieur à 10 est considéré comme significatif et permet de prendre une décision sans recourir à d'autres critères. Un ratio inférieur à 3 n'est pas significatif et le recours à d'autres critères est nécessaire. Pour des ratios entre 3 et 10, une étude de sensibilité est requise.

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet :** http://www.ineris.fr