

**Commission économique pour l'Europe****Conférence des Parties à la Convention sur les effets transfrontières des accidents industriels****Douzième réunion**Genève, 29 novembre-1^{er} décembre 2022

Point 10 a) de l'ordre du jour provisoire

Facilitation de l'application :**a) Évaluation des risques pour la prévention des accidents industriels****Évaluation des risques pour la prévention des accidents industriels : études de cas sélectionnées et outils logiciels disponibles*****Rapport présenté par le groupe restreint de l'évaluation des risques***Résumé*

À sa onzième réunion (Genève (hybride), 7-9 décembre 2020), la Conférence des Parties a demandé au groupe restreint de l'évaluation des risques de soumettre, pour examen à sa douzième réunion, deux rapports sur les méthodes d'évaluation des risques pour les installations chimiques dans la région de la Commission économique pour l'Europe (CEE) : l'un introduisant les méthodes d'évaluation des risques pour la prévention des accidents industriels et les outils logiciels disponibles, l'autre contenant des études de cas particulières sur les méthodes d'évaluation des risques appliquées dans certaines installations industrielles de la région^a de la CEE – et portant également sur les outils logiciels disponibles.

Le présent rapport a été élaboré par un contractant, qui s'est appuyé sur les contributions soumises par les États membres de la CEE et sur les conseils réguliers du groupe restreint de l'évaluation des risques et sur l'aide du secrétariat, grâce au soutien financier de la Suisse. Ce rapport a également été examiné et appuyé par les États membres de CEE, qui ont fourni des contributions, ainsi que par le Bureau et le Groupe de travail de l'application de la Convention. Il doit être lu à la lumière du premier rapport (partie 1) (ECE/CP.TEIA/2022/8), qui contient un aperçu du processus d'évaluation des risques, y compris les outils d'analyse et les critères d'évaluation. Dans le présent rapport sont présentées des études de cas illustrant l'application des bonnes pratiques ainsi que des outils et méthodes exposés dans la première partie.

* Tous les chiffres et tableaux figurant dans le présent document correspondent à ceux contenus dans les rapports nationaux présentés par les États membres de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe en réponse à la demande formulée en ce sens par le secrétariat.



La Conférence des Parties est invitée à :

- a) Prendre note du présent rapport, dans lequel sont exposées des études de cas et certains des outils logiciels disponibles pour l'évaluation des risques liés aux installations chimiques ;
- b) Prendre note également de la partie 1, qui donne un aperçu des méthodes d'évaluation des risques ;
- c) Prendre en compte les informations contenues dans les deux rapports d'évaluation des risques et en promouvoir l'utilisation dans les travaux futurs, notamment en tant que documents de référence ;
- d) Demander au secrétariat de publier les rapports sur l'évaluation des risques dans les trois langues de travail officielles de la CEE au cours de l'exercice 2023-2024.

^a ECE/CP.TEIA/42, par. 75.

I. Introduction et sélection des études de cas

1. Dans le présent rapport sont présentées des études de cas d'application d'une méthode d'évaluation des risques à des installations chimiques dans la région de la Commission économique pour l'Europe (CEE). Ces études de cas couvrent cinq types d'installations : les réservoirs de stockage de gaz naturel liquéfié (GNL)/gaz de pétrole liquéfié (GPL) ; les installations de réfrigération à l'ammoniac ; les terminaux pétroliers (installations de chargement/déchargement/stockage d'hydrocarbures) ; les installations de stockage de nitrate d'ammonium ; les installations de chlore. À l'annexe du présent rapport figure une liste des principaux outils logiciels d'évaluation des risques liés aux installations chimiques.

2. Plusieurs pays de la CEE ont été invités à soumettre des études de cas sur les cinq types d'installations susmentionnées, en communiquant des informations sur la base d'un modèle. Parmi les études de cas soumises, cinq études de cas transfrontières ont été présentées par trois pays. Dix-huit des trente études de cas soumises, dont trois exemples transfrontières, ont été sélectionnées en fonction de la situation géographique, du type d'installation et des considérations transfrontières. Certains pays, dont ceux d'Europe de l'Est, du Caucase et d'Asie centrale, n'ont pas soumis d'études de cas en raison du caractère confidentiel des informations demandées.

3. Le présent rapport doit être lu à la lumière du rapport intitulé « Évaluation des risques pour la prévention des accidents industriels : Aperçu des méthodes d'évaluation des risques » (ci-après dénommé « partie 1 ») (ECE/CP.TEIA/2022/8). La partie 1 contient un aperçu général des méthodes d'évaluation des risques applicables aux risques découlant d'activités dangereuses.

II. Informations clés demandées

4. Afin d'assurer la cohérence, un modèle de réponses contenant les sections suivantes a été fourni pour chaque étude de cas :

a) Scénarios d'incidents majeurs : résumé (dans toutes les études de cas) des scénarios d'incidents pris en compte dans l'évaluation des risques, concernant généralement une perte de confinement de la matière dangereuse principale, et parfois des effets de réaction ou de combustion ultérieurs ;

b) Examen des conséquences des rejets : Examen (toutes les études de cas) des conséquences telles que les décès, les blessures, les effets environnementaux et les dommages hors site, y compris grâce à des bases de données et des logiciels utilisés pour la modélisation des conséquences ;

c) Probabilité d'occurrence : Examen (toutes les études de cas) des causes possibles de l'incident et estimation de sa probabilité, y compris au moyen de bases de données utilisées pour déterminer la probabilité d'occurrence ;

d) Présentation des risques : Évaluation (toutes les études de cas) de la manière dont les données relatives à la probabilité et à la gravité des incidents ont été combinées et communiquées, y compris la nature des analyses réalisées (qualitatives, semi-quantitatives ou quantitatives) et les méthodes de présentation des critères de notation des risques ;

e) Critères d'acceptabilité des risques : Examen (toutes les études de cas) des critères d'acceptabilité des risques appliqués, en fonction des réglementations du pays/de la région et des parties prenantes concernées ;

f) Mesures de réduction des risques appliquées : Dans certaines études de cas, des mesures supplémentaires ont été prises pour réduire les risques sur la base des résultats de l'évaluation des risques, notamment des mesures en matière de prévention, de préparation et d'intervention.

5. Dans certaines études de cas, il n'était pas clair si les mesures de réduction des risques indiquées avaient été appliquées expressément à la lumière des résultats de l'évaluation des risques ou, de manière générale, en tant que bonnes pratiques en matière de sécurité chimique ; le premier cas est indiqué en précisant « mesures supplémentaires » de réduction des risques mises en œuvre, le second est signalé par un astérisque (*) dans les tableaux récapitulatifs des études de cas ci-dessous.

III. Présentation d'études de cas

A. Gaz naturel liquéfié/gaz de pétrole liquéfié

1. Finlande

6. L'installation, d'une superficie d'environ 75 000 m², est située en bord de mer à moins d'un kilomètre d'une zone résidentielle et d'une station de traitement des eaux usées et à 1,5 km de la ville la plus proche (voir le tableau 1 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 1

Résumé de l'étude de cas concernant le gaz naturel liquéfié/gaz de pétrole liquéfié (Finlande)

Informations clefs	Description
Scénarios d'incidents majeurs	Rejet de gaz inflammable/liquide inflammable ; Rejet de gaz et de liquide GPL d'un camion-citerne ou d'un wagon de train.
Examen des conséquences des rejets	Aucun décès ou blessure de la population à l'extérieur de l'installation n'est à craindre. Aucun dommage hors site ni aucun effet sur les zones résidentielles adjacentes ne sont considérés comme des conséquences possibles. Les seules conséquences environnementales seraient un incendie de végétation à proximité de l'installation. Modélisation des conséquences réalisée à l'aide du logiciel Phast et niveaux de rayonnement thermique évalués à 3-8 kW/m ² .
Probabilité d'occurrence	Non évaluée ; les causes de l'incident pouvaient être une défaillance structurelle, un accident de la circulation ou une erreur humaine.

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Présentation des risques	Risques individuels et environnementaux. Évaluation qualitative des risques réalisée au moyen de la méthode Bow-Tie. Évaluation des risques réalisée également grâce à des méthodes quantitatives telles que la modélisation des conséquences. Matrice des risques non indiquée.
Critères d'acceptabilité des risques	Non précisé
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	Détecteurs de gaz et d'incendie ; systèmes instrumentés de sécurité tels que les contrôles de niveau et les soupapes de sécurité ; les mesures préventives sont notamment les suivantes : ATmosphère EXplosible, mise à la terre, entretien régulier, surveillance vidéo ; les mesures de protection comprennent un système de refroidissement à l'eau et un système d'extinction à l'eau ; plans d'urgence internes et externes et formations.

2. France

7. Le site, d'environ 65 000 m², est entouré d'un canal, de routes, d'usines et de voies ferrées (voir le tableau 2 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 2

Résumé de l'étude de cas concernant le gaz naturel liquéfié/gaz de pétrole liquéfié (France)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Explosion et incendie dus à la libération de gaz/liquide inflammable.
Examen des conséquences des rejets	Estimation des conséquences : de 100 à 1 000 blessés. Risques de surpression et de radiations thermiques concernant les résidents aux alentours de l'installation. Utilisation de valeurs de danger immédiat pour la vie ou la santé (danger d'inhalation) aux fins de l'évaluation des conséquences et du logiciel Phast pour la modélisation des conséquences.
Probabilité d'occurrence	Le scénario le plus défavorable est jugé « extrêmement improbable ». Les causes d'incidents comprennent les défaillances des équipements, les erreurs humaines et le desserrement des connexions en raison de l'usure. Données du RIVM utilisées pour déterminer la probabilité d'un incident.
Présentation des risques	<p>Risque pour les personnes et l'environnement. Évaluation quantitative des risques au moyen d'une analyse Bow-tie.</p> <p>La matrice des risques comportait quatre niveaux de gravité qualitative : modéré (aucune blessure ou décès) ; grave (blessure ou maladie mineure) ; important (hospitalisation due à une exposition/incapacité permanente) ; catastrophique (décès).</p> <p>Les niveaux qualitatifs de probabilité étaient les suivants : extrêmement improbable ; très peu probable ; improbable ; fréquent.</p>

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Critères d'acceptabilité des risques	Critères d'acceptabilité des risques basés sur les critères nationaux (circulaire du 10 mai 2010) et une combinaison de niveaux qualitatifs et quantitatifs. Les risques individuels et environnementaux ont été évalués à l'aide de différentes méthodes. Les incidences environnementales ont été examinées selon une approche qualitative au cas par cas. La direction de l'installation, les professionnels de la sécurité et l'autorité compétente locale ont participé à la détermination de la matrice des risques et des critères d'acceptation des risques.
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	Détecteurs de gaz et de flammes ; systèmes instrumentés de sécurité incluant le contrôle du niveau et de la pression ; mesures préventives, y compris entretien, soupapes de sécurité et formations ; mesures de protection comprenant des systèmes d'extinction d'incendie, un système de pulvérisation d'eau pour le refroidissement ; plan d'intervention d'urgence.

Abréviation : RIVM, National Institute for Public Health and the Environment of the Netherlands (Institut néerlandais de protection de la santé publique et de l'environnement).

3. Suède

8. Le site, d'une superficie de 20 000 m², consiste en un stockage souterrain de GPL à proximité d'une zone résidentielle et d'un port. Le stockage souterrain de GPL sur le site consiste en une citerne pressurisée de 47 000 m³ et une citerne réfrigérée de 100 000 m³ (voir le tableau 3 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 3

Résumé de l'étude de cas concernant le gaz naturel liquéfié/gaz de pétrole liquéfié (Suède)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Rejet de gaz toxique entraînant un incendie et une explosion.
Examen des conséquences des rejets	Jusqu'à 50 morts possibles. Les effets sur l'environnement comprennent le rejet de GPL dans l'atmosphère. Aucun dommage hors site attendu. Modélisation des conséquences à l'aide de l'outil ALOHA.
Probabilité d'occurrence	La cause identifiée de l'incident était une fuite (rupture de tuyau/bride/valve). La probabilité d'une fuite de tuyau était de $3,8 \times 10^{-7}$ /an. Probabilité d'occurrence d'un incident évaluée grâce à un jugement professionnel, à une analyse par arbre d'événements et à des bases de données telles que la Classification of Hazardous Locations (classification des sites dangereux) ¹ .
Présentation des risques	Les risques identifiés étaient les suivants : fuite (tuyau/bride/valve), incendie, vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition (BLEVE). Les risques individuels et sociétaux ont été examinés.

¹ A. W. Cox, F. P. Lees et M. L. Ang (Warwickshire, Institution of Chemical Engineers, 1990).

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
	<p>L'évaluation semi-quantitative a reposé sur une analyse des dangers principaux pour déterminer les scénarios, en évaluant les risques à l'aide de la méthode de calcul « probabilité x conséquence », puis d'une analyse quantitative fondée sur une analyse par arbre d'événements aux fins du dimensionnement des scénarios.</p> <p>La matrice de risque comprenait les niveaux de risque suivants : faible (vert) ; moyen (jaune) ; élevé (rouge).</p> <p>Les niveaux de probabilité étaient : < une fois/1 000 ans ; < une fois/100-1 000 ans ; < une fois/10-100 ans ; < une fois/1-10 ans ; < une fois par an.</p> <p>Les niveaux de gravité étaient les suivants : blessures mineures, ne nécessitant pas d'hospitalisation ; blessures importantes, hospitalisation nécessaire ; blessures graves, dommages permanents ; élevé, décès (1) ; catastrophe, décès (>10).</p>
Critères d'acceptabilité des risques	<p>Il n'existe pas de critères nationaux d'acceptation des risques en Suède ; les exploitants appliquent les critères de risque élaborés par d'autres pays et organisations industrielles. En application de la législation environnementale suédoise, les exploitants doivent prouver aux autorités et à la population qu'ils peuvent gérer les risques et les maintenir à un niveau bas.</p> <p>Les exploitants sont tenus de prendre toutes les mesures nécessaires pour prévenir les accidents à un coût raisonnable. Il appartient donc aux autorités et aux tribunaux de déterminer le coût raisonnable par rapport au risque dans chaque cas.</p> <p>Un risque individuel de 10⁻⁷ est représenté sur une carte (voir fig. 1). Les parties prenantes à l'évaluation des risques sont notamment des consultants en sécurité et le personnel d'exploitation de l'entreprise.</p>
Mesures supplémentaires de réduction des risques mises en œuvre*	<p>Détecteurs de gaz et systèmes d'alarme ; mesures de prévention, y compris les procédures et les instructions ; mesures de protection, y compris les systèmes d'arrêt d'urgence ; plans d'intervention d'urgence en cas de rejet de gaz.</p>

Abréviations : ALOHA, Areal Locations of Hazardous Atmospheres (Localisation en surface des atmosphères dangereuses) ; BLEVE, vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition.

* A. W. Cox, F. P. Lees et M. L. Ang (Warwickshire, Institution of Chemical Engineers, 1990).

Figure 1

Représentation cartographique des risques individuels dans le cas d'une installation de gaz de pétrole liquéfié en Suède



4. Suisse

9. Le site s'étend sur environ 30 000 m², dont une zone d'installation de 1 000 m², composée de deux réservoirs de GPL utilisés pour chauffer les aiguillages des lignes ferroviaires en hiver afin d'éviter le gel. Ces réservoirs sont proches d'une zone résidentielle, d'une ligne de chemin de fer, d'une zone industrielle et d'un hôpital (voir tableau 4 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 4

Résumé des études de cas concernant le gaz naturel liquéfié/gaz de pétrole liquéfié (Suisse)

Informations clefs	Description
Scénarios d'incidents majeurs	Explosion de nuages de vapeur et vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition (BLVE) en raison d'un rejet de gaz/liquide inflammable.
Examen des conséquences des rejets	Les conséquences d'un rejet comprennent l'exposition aux radiations thermiques. Les effets transfrontières n'étaient pas jugés plausibles dans le scénario d'incident. Selon l'analyse des risques, l'explosion de nuages de vapeur et la BLEVE entraîneraient, respectivement, 430 et 280 décès. Aucun effet sur l'environnement relevé dans l'analyse des risques, les produits de la combustion du GPL n'étant pas écotoxiques. Modélisation des conséquences réalisée à l'aide du logiciel EFFECTS. Fonctions Probit utilisées pour le rayonnement thermique dans EFFECTS. Différents rayons ont été définis pour chaque pourcentage de létalité, par exemple 160 m pour une létalité de 100 % (cercle vert), 310 m pour une létalité de 50 % (cercle bleu) et 450 m pour une létalité de 1 % (cercle rouge) (voir fig. 2 et 3).

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Probabilité d'occurrence	Les événements déclencheurs comprenaient la collision d'un petit avion ou l'impact mécanique d'un véhicule routier ; la probabilité a été déterminées grâce à une analyse par arbre de défaillance et par arbre d'événements. Une directive suisse interne pour l'analyse des risques des réservoirs de stockage de GPL a été appliquée. La probabilité d'explosion de nuages de vapeur était de 10^{-11} et celle de BLEVE de 10^{-8} .
Présentation des risques	Le principal danger évalué concernait le rayonnement thermique. Le risque a été considéré en tant que risque sociétal. L'évaluation des risques réalisée était quantitative et reposait sur les méthodes de l'arbre de défaillance et de l'arbre d'événements. La matrice de risque se composait de trois niveaux de risque différents, d'acceptable à inacceptable (voir fig. 4).
Critères d'acceptabilité des risques	Critères d'acceptabilité des risques fondés sur les lignes directrices relatives aux installations chimiques du manuel de l'ordonnance sur les accidents majeurs ² . Ces lignes directrices, acceptées par toutes les parties prenantes, sont harmonisées en Suisse. Critères d'acceptabilité des risques (voir fig. 5) résumés à l'aide de la courbe de somme des risques pour les réservoirs de gaz GPL. Parties prenantes concernées : autorités fédérales et cantonales et représentants de différentes associations industrielles.
Mesures supplémentaires de réduction des risques mises en œuvre	L'analyse a conclu que le risque était inacceptable. Les deux réservoirs de GPL ont donc été démontés et le chauffage a été assuré par de petites conduites souterraines présentant un potentiel de risque beaucoup plus faible.

Figure 2
Réservoir de gaz de pétrole liquéfié en Suisse



² Disponible à l'adresse suivante : <http://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/stoerfallvorsorge/publikationen-studien/publikationen/beurteilungskriterien-zur-stoerfallverordnung-stfv.html> (uniquement en français, allemand et italien).

Figure 3

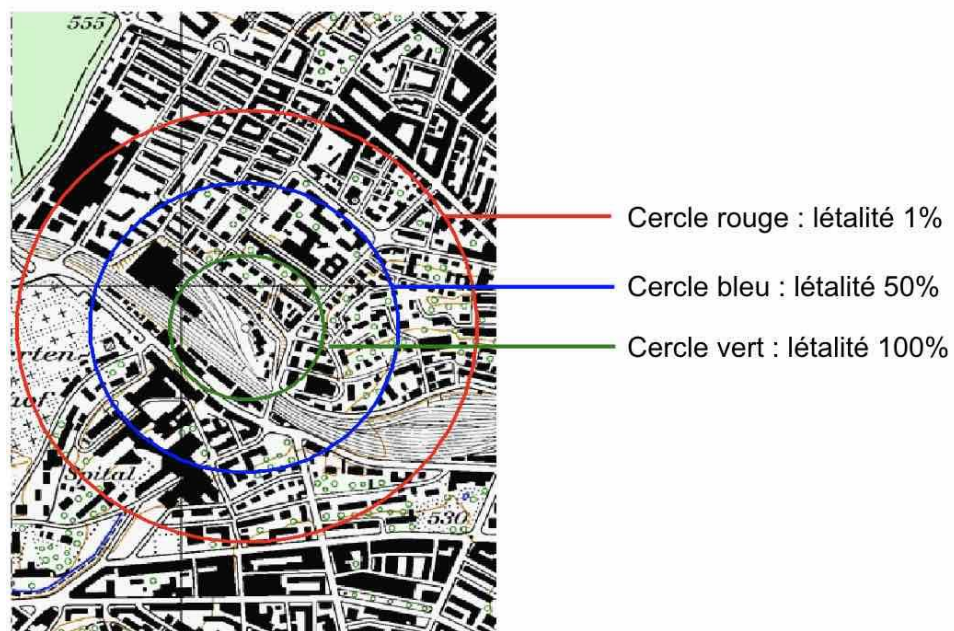
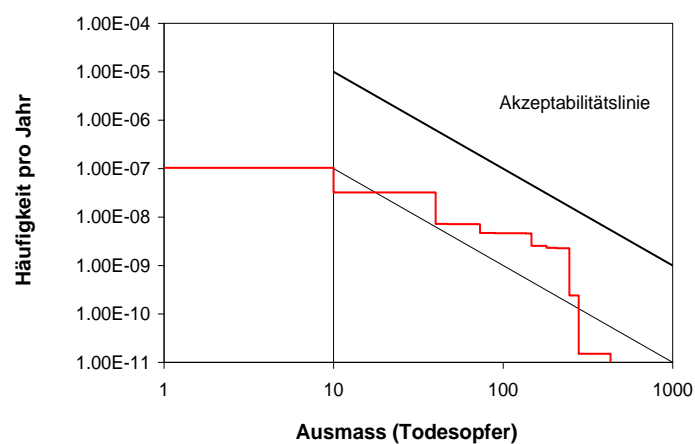
Contours des risques concernant le gaz de pétrole liquéfié en Suisse

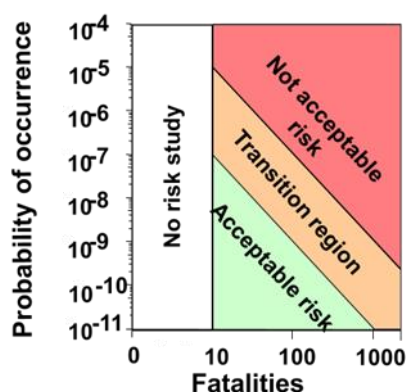
Figure 4

Risques liés au gaz de pétrole liquéfié en Suisse

Note : Axe vertical : « Fréquence par an » ; axe horizontal : « Ampleur (décès) » ; texte dans le graphique : « Limite acceptable ».

Figure 5

Critères d'acceptation des risques liés aux gaz de pétrole liquéfiés en Suisse



Note : Niveau blanc et vert : « Risque acceptable ». Niveau orange : « Zone de limite d'acceptation » acceptable après pondération des intérêts. Niveau rouge : « Risque non acceptable ».

B. Réfrigération à l'ammoniac

1. Estonie

10. Le site, d'une superficie d'environ 60 500 m², est situé dans un port à proximité de zones résidentielles et maritimes (voir le tableau 5 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 5

Résumé de l'étude de cas concernant la réfrigération à l'ammoniac (Estonie)

Informations clefs	Description
Scénarios d'incidents majeurs	Dégagement de gaz d'ammoniac entraînant un nuage toxique et provoquant un incendie et une BLEVE.
Examen des conséquences des rejets	<p>Les conséquences du scénario le plus défavorable pourraient mettre en danger 2 945 personnes, dont 30 % directement menacées. Les zones résidentielles et portuaires environnantes devraient être évacuées en raison du rejet de substances toxiques.</p> <p>Trois niveaux de conséquences sont utilisés : Danger immédiat pour la vie ou la santé, AEGL-3 (30 min), Concentration létale (LC₅₀ à 30 minutes).</p> <p>L'outil ALOHA a été utilisé pour modéliser les conséquences.</p>
Probabilité d'occurrence	Les événements déclencheurs comprenaient des erreurs humaines, des problèmes technologiques ou des orages. Le « Purple Book » ³ du RIVM et l'analyse des problèmes potentiels constituent les bases de données et les références utilisées pour déterminer la probabilité d'un incident. La probabilité est inférieure à une fois tous les cinquante ans.

³ P. A. M. Uijt de Haag and B. J. M. Ale, CPR 18E – Guidelines for quantitative risk assessment: « Purple Book » – Part one: Establishments (n.p., Committee for the Prevention of Disasters (CPR), 1999). Disponible à l'adresse suivante : <https://publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/publicaties/PGS3.html>.

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Présentation des risques	<p>Les différents types de risques comprenaient les risques individuels et sociétaux (personnes, entourage, environnement) et les pertes matérielles. Des méthodes semi-quantitatives ont été utilisées pour évaluer les risques. Les méthodes qualitatives utilisées pour l'évaluation des risques comprenaient l'analyse des problèmes potentiels, les méthodes du RIVM et les lignes directrices du « Purple Book » pour l'évaluation quantitative des risques.</p> <p>Des méthodes quantitatives ont été utilisées pour modéliser les conséquences. Une matrice des risques a été utilisée pour évaluer les risques.</p> <p>Les niveaux de gravité de la matrice des risques étaient les suivants : négligeable ; mineur ; modéré ; majeur ; catastrophique.</p> <p>Les niveaux de probabilité de la matrice des risques étaient les suivants : très faible, faible, moyen, important, très important.</p>
Critères d'acceptabilité des risques	Non disponible
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	Mesures de réduction des risques : alarmes de détection de concentration toxique, alarmes de fuite et de niveau, systèmes d'alarme sur site et hors site ; systèmes instrumentés de sécurité, y compris le contrôle du niveau ; mesures de prévention, y compris les clôtures, les différentes alarmes, l'entretien, les exercices pratiques ; mesures de protection, y compris les équipements de protection individuelle, les rideaux d'eau visant à limiter les fuites de gaz, les extincteurs ; plans d'intervention d'urgence externes et internes.

Abréviation : AEGL, guide de seuils d'exposition aiguë.

2. Finlande

11. Le site couvre environ 1 300 000 m² et est situé à 2,7 km de la ville la plus proche et à 1,7 km de la résidence la plus proche (voir le tableau 6 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 6

Résumé de l'étude de cas concernant la réfrigération à l'ammoniac (Finlande)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Fuite d'ammoniac toxique d'un wagon de train provenant d'un réservoir non pressurisé ou d'un réservoir pressurisé.
Examen des conséquences des rejets	<p>Le nombre de décès ou de blessures n'a pas été évalué. Le scénario le plus défavorable prévoyait une fuite d'un réservoir de 5 000 tonnes entraînant des concentrations AEGL-3 dans les bâtiments les plus proches.</p> <p>Les incidences environnementales comprenaient des dommages aux arbres et aux plantes.</p> <p>Une exposition aux gaz toxiques avec des effets notables pourrait avoir lieu en cas de direction défavorable du vent. Des évacuations pourraient être nécessaires. Les seuils AEGL-2 et AEGL-3 (10 minutes, 30 minutes, 60 minutes) ont été retenus pour évaluer les conséquences. Le logiciel EFFECTS a été utilisé pour modéliser les conséquences.</p>

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Probabilité d'occurrence	Les événements déclencheurs comprenaient une défaillance structurelle. Les autres éléments n'ont pas été évalués ou signalés.
Présentation des risques	<p>Les différents types de risques évalués sont les risques pour les personnes, l'environnement, les biens et la réputation. Une évaluation qualitative (analyse des dangers et de l'exploitabilité (HazOp)) et semi-quantitative (identification des dangers (HazId)) des risques a été réalisée. Une matrice des risques a été utilisée.</p> <p>Les niveaux de gravité utilisés dans la matrice des risques étaient les suivants : négligeable ; mineur ; modéré ; majeur ; catastrophique.</p> <p>Les niveaux de probabilité utilisés dans la matrice des risques étaient les suivants : extrêmement improbable ; très improbable ; peu probable ; probable ; très probable.</p>
Critères d'acceptabilité des risques	Non disponible
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	Détecteurs de gaz et alarmes ; systèmes instrumentés de sécurité comprenant le contrôle du niveau et de la température, les automatismes de sécurité, le contrôle à distance des vannes ; activités de prévention comprenant des consignes à l'intention des opérateurs, la planification du tracé des pipelines, la planification du trafic ; mesures de protection comprenant des masques d'évacuation, des systèmes d'extinction à eau, un générateur de secours pour le stockage de l'ammoniac, une pompe d'extinction à eau diesel, un rideau d'eau ; plans d'urgence internes et externes.

3. Hongrie

12. Le site, d'une superficie d'environ 85 000 m², est une usine de produits alimentaires. Il est situé à moins de 100 m de zones résidentielles et industrielles (voir le tableau 7 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 7

Résumé de l'étude de cas sur la réfrigération à l'ammoniac (Hongrie)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Rejets d'ammoniac liquéfié en raison de la surpression du pipeline. Aucun effet transfrontière considéré comme probable.
Examen des conséquences des rejets	<p>Le scénario le plus défavorable étudié portait sur le rejet de gaz toxiques. Le scénario d'évaluation des risques était le suivant : rupture d'une canalisation d'ammoniac de 30 m de long et de 150 mm de diamètre interne. L'emplacement de la fuite est à 12 m de hauteur. La rupture libère 4 400 kg d'ammoniac liquéfié (la surpression est de 12,5 bars). L'analyse des risques quantitative détaillée tenait compte de toutes les circonstances météorologiques possibles. Les conséquences suivantes ont été prises en compte : vitesse du vent de 1 m/s et classe de stabilité F-Pasquill (conditions très stables).</p> <p>Il a été évalué qu'il y aurait : 10 % de décès – 1 personne ; 1 % de décès – 4 personnes ; les incidences environnementales comprenaient le rejet de gaz toxiques dans l'atmosphère.</p>

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
	<p>Les zones résidentielles environnantes devraient être évacuées en raison du rejet des substances toxiques. Méthode de calcul Probit utilisée pour définir la probabilité de létalité.</p> <p>Le « Green Book »⁴ a été utilisé comme référence pour la modélisation des conséquences. Le logiciel Safeti a été utilisé pour modéliser les conséquences (voir fig. 6 et 7).</p>
Probabilité d'occurrence	<p>Les événements déclencheurs comprenaient les défaillances structurelles, les défaillances des contrôles des procédés, les problèmes technologiques et les effets domino liés aux autres installations.</p> <p>Le manuel de référence Bevi Risk Assessments⁵ et le « Purple Book » ont été utilisés pour déterminer la probabilité d'un incident. La fréquence de rupture des pipelines retenue était de 10^{-7}/mètre/an.</p>
Présentation des risques	<p>L'évaluation complète des risques de l'installation tenait compte de tous les scénarios possibles, y compris la perte de confinement de différents conteneurs, pipelines et cuves de traitement.</p> <p>Tous les scénarios susceptibles de contribuer de manière significative au risque individuel en un point donné ou au risque sociétal et qui remplissent les deux conditions suivantes ont été inclus dans l'analyse quantitative du risque : fréquence du scénario $\geq 10^{-9}$/an ; risque de blessure mortelle (1 % de décès) en dehors des limites du site.</p> <p>La matrice des risques n'a pas été utilisée pour l'évaluation des risques. La présentation des risques comprenait les éléments suivants : matrice météorologique (vitesse du vent, direction du vent, stabilité) ; rapport de classement des risques ; risque individuel et sociétal (voir fig. 8 et 9).</p>
Critères d'acceptabilité des risques	<p>Les limites acceptables et inacceptables étaient fixées en fonction du niveau de risque et du nombre de décès (voir fig. 10).</p> <p>Des critères différents ont été utilisés concernant les risques individuels et environnementaux. Les critères de risque environnemental utilisés étaient qualitatifs, les réglementations ne fournissant que des conseils pratiques. Les parties prenantes comprenaient l'exploitant et les consultants agréés.</p>
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	<p>Détecteurs de gaz toxiques et systèmes d'alarme ; systèmes instrumentés de sécurité incluant le contrôle du niveau, de la température et de la pression ; mesures préventives comprenant un système mobile de buses à rideau d'eau ; supplément d'information requis à l'entrée nationale ; plans d'urgence internes et externes.</p>

⁴ C. J. H. van den Bosch et autres, CPR 16E – Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials: « Green Book » (n.p., CPR, 1992).

⁵ Disponible à l'adresse suivante : http://infonorma.gencat.cat/pdf/AG_AQR_2_Bevi_V3_2_01-07-2009.pdf.

Figure 6
Probabilité de décès due à l'ammoniac en fonction de la distance en Hongrie

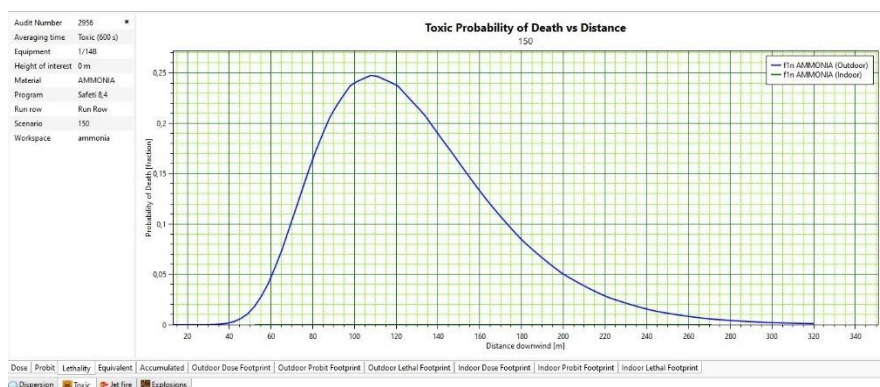


Figure 7
Carte des courbes de létalité de l'ammoniac de 1 à 10 % de toxicité en Hongrie

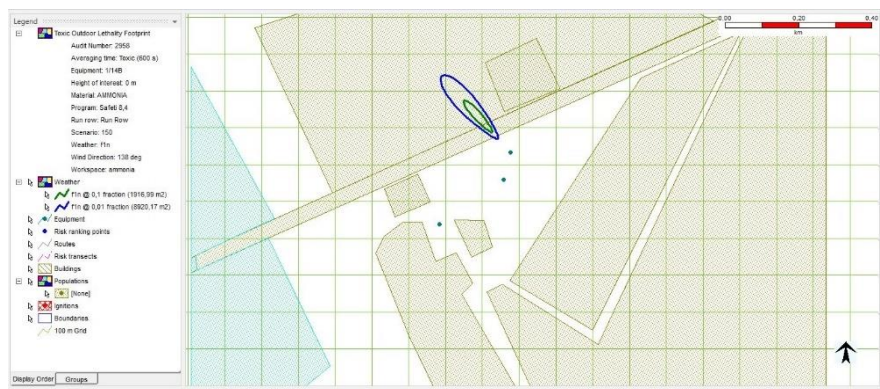


Figure 8
Contours de risques individuels concernant l'ammoniac en Hongrie

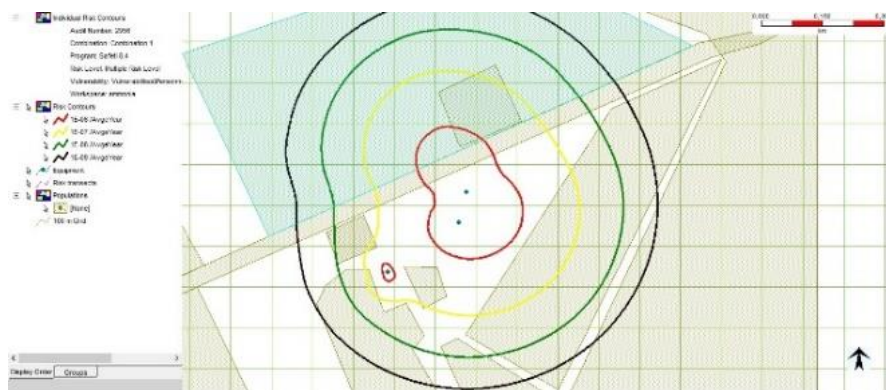


Figure 9
Courbe F-N concernant le risque sociétal lié à l'ammoniac en Hongrie

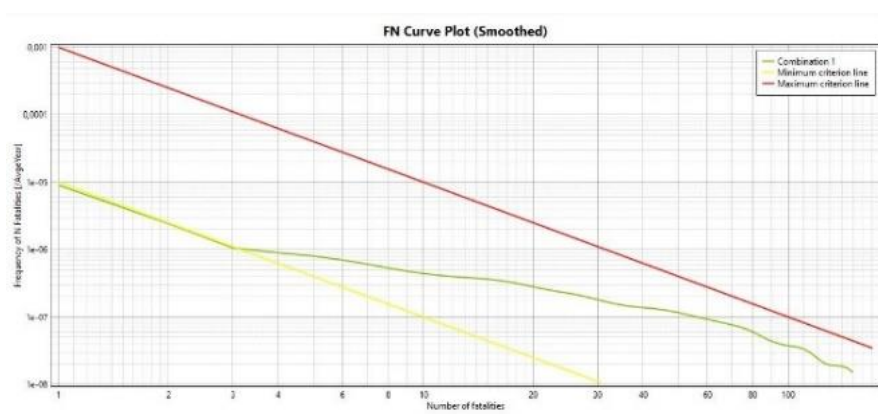
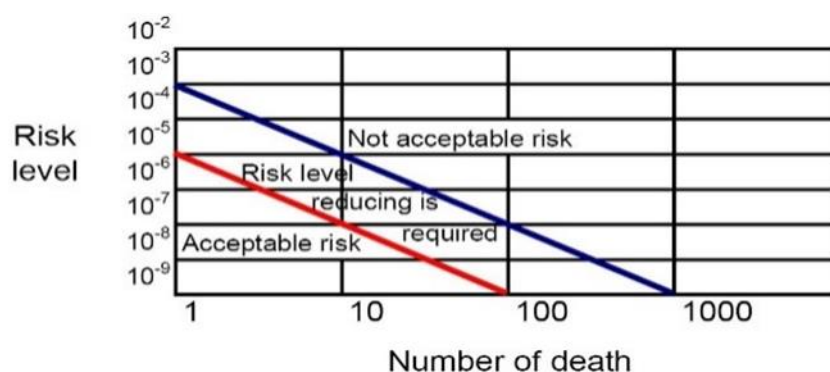


Figure 10
Critères d'acceptation des risques liés à l'ammoniac en Hongrie



4. Suisse (transfrontière)

13. L'installation s'étend sur environ 29 100 m² et est située à proximité d'une zone résidentielle, d'une école et d'une zone industrielle. Une exposition transfrontière concernant la France a été prise en compte, la frontière étant située à 170 m de l'installation (voir tableau 8 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 8
Résumé de l'étude de cas concernant la réfrigération à l'ammoniac en Suisse (transfrontière)

Informations clefs	Description
Scénarios d'incidents majeurs	Fuite d'ammoniac toxique provenant d'une installation, avec exposition transfrontière potentielle en ce qui concerne la France (parking). Selon le scénario, de l'ammoniac liquide ou gazeux peut être rejeté.
Examen des conséquences des rejets	Scénario le plus défavorable ; 80 décès en Suisse et en France. Le nombre de décès transfrontières n'a pas été calculé précisément. L'exposition aux gaz toxiques a été évaluée à l'aide de la fonction Probit létale du logiciel EFFECTS.
Probabilité d'occurrence	Les événements déclencheurs étaient les suivants : tremblement de terre, incendie, sabotage, action mécanique, mauvaise manipulation et défaillance spontanée du conteneur. Probabilités évaluées à l'aide des lignes directrices du Centre for Chemical Process Safety relatives à l'analyse quantitative des risques des processus chimiques et d'autres documents.

Informations clefs	Description
Présentation des risques	Le risque sociétal a été évalué quantitativement à l'aide d'une analyse par arbre de défaillance et d'une analyse par arbre d'événements. Une matrice des risques a été utilisée, dans laquelle les couleurs grise et verte représentaient un risque acceptable, la couleur jaune indiquait qu'une évaluation était nécessaire après évaluation des avantages et la couleur rouge représentait un risque inacceptable. Parties prenantes concernées : autorités fédérales et cantonales et représentants de différentes associations industrielles (voir fig. 11).
Critères d'acceptabilité des risques	Voir fig. 12
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	Détecteurs d'ammoniac, vannes à action rapide, alarmes directes transmises aux pompiers ; systèmes instrumentés de sécurité incluant le contrôle de la température et de la pression ; plans d'urgence internes.
Mesures supplémentaires de réduction des risques mises en œuvre	Les mesures de prévention comprenaient un échangeur de chaleur pour le refroidissement secondaire (2 circuits), des mesures de réduction du potentiel de danger (quantité d'ammoniac) ; modernisation sismique du bâtiment ; école située à environ 150 m équipée de capteurs d'ammoniac.

Figure 11

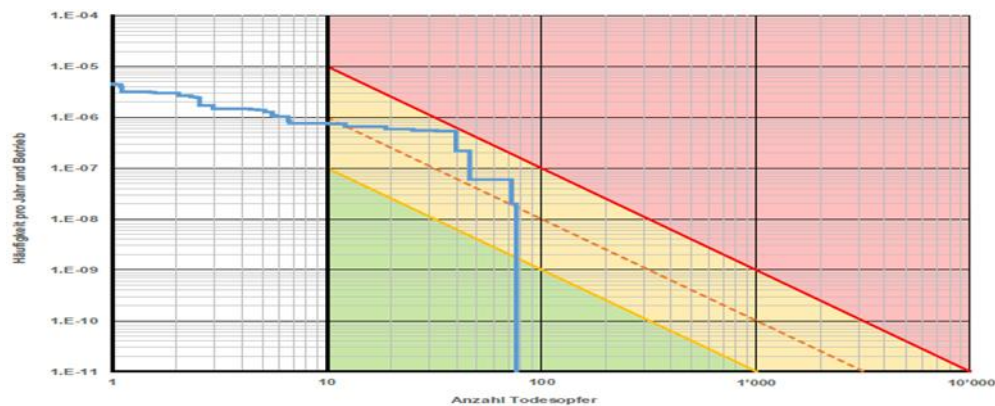
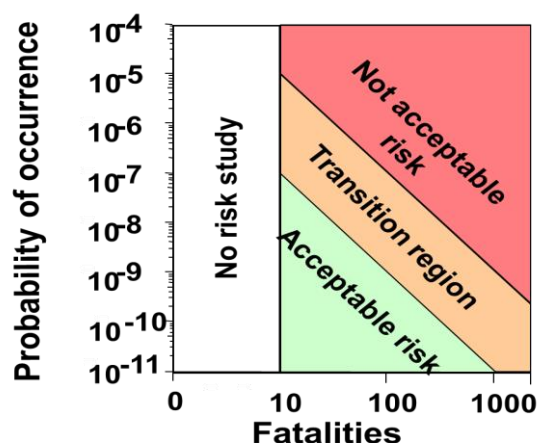
Représentation des risques liés à l'ammoniac en Suisse (transfrontière)

Figure 12

Critères d'acceptation des risques liés à l'ammoniac en Suisse (transfrontière)



Note : Niveau blanc et vert : « Risque acceptable ». Niveau orange : « Zone de limite d'acceptation » acceptable après pondération des intérêts. Niveau rouge : « Risque non acceptable ». En Suisse, les mêmes critères quantitatifs d'acceptabilité sont appliqués aux risques environnementaux. Un autre axe X est utilisé à la place de celui des décès.

C. Terminaux pétroliers

1. Allemagne

14. Le site est situé près d'une zone résidentielle. Sa superficie et d'autres détails n'ont pas été communiqués (voir le tableau 9 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 9

Résumé de l'étude de cas concernant les terminaux pétroliers (Allemagne)

Informations clefs	Description
Scénarios d'incidents majeurs	Incendie de citerne
Examen des conséquences des rejets	Blessures corporelles. Les personnes et les bâtiments situés à proximité sont exposés à des rayonnements (1,6 kW/m ² , 5 kW/m ² et 8 kW/m ²) dus à l'incendie de la citerne. Le « Yellow book » ⁶ a été utilisé pour modéliser les conséquences, ainsi que le logiciel DISaster Management (Allemagne) et les manuels du Programme for Numerical Safety Simulations (Allemagne).
Probabilité d'occurrence	L'expérience et les jugements professionnels ont été utilisés pour déterminer la probabilité d'incident.
Présentation des risques	Le risque pour les personnes (risque individuel) a été identifié dans l'évaluation des risques. L'évaluation qualitative des risques a été réalisée à l'aide de la procédure de liste de contrôle allemande (Association of Technical Inspection Agencies).

⁶ C.J.H. van den Bosch et R.A.P.M. Weterings, eds., *CPR 14E – Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases)*: « Yellow Book » (n.p., CPR, 1996). Disponible à l'adresse suivante : <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/PGS2.html>.

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Critères d'acceptabilité des risques	Déterminé à partir des niveaux de risque qualitatifs.
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	Alarmes de détection d'incendie, plans d'intervention d'urgence.

2. Norvège

15. Le site couvre environ 30 000 m², dont 700 m² d'installations, et se trouve dans une zone portuaire proche du centre-ville (zones résidentielles, zones de loisirs, autres activités portuaires), d'une route principale et d'une voie ferrée (voir le tableau 10 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 10

Résumé de l'étude de cas concernant les terminaux pétroliers (Norvège)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Rejet de gaz/liquide inflammable dû à une fuite de liquides pétroliers entraînant un incendie ou une explosion. L'analyse quantitative des risques a pris en compte 13 scénarios, la plupart d'entre eux entraînant une fuite de pétrole et l'inflammation du rejet, avec pour conséquence un incendie ou une explosion. Effets transfrontières exclus selon ce scénario.
Examen des conséquences des rejets	Les risques individuels et les risques pour la société ont été pris en compte. Aucune population (public) en dehors de la zone portuaire ne serait touchée. L'impact environnemental n'est pas traité dans l'évaluation. Utilisation de Phast et Safeti 7.2.
Probabilité d'occurrence	Sur la base des isocourbes de risques individuels, une probabilité de 10 ⁻⁵ /an a été déterminée à l'intérieur de la zone du terminal pétrolier et dans une petite fraction de la zone portuaire. Une probabilité de 10 ⁻⁶ /an a été déterminée principalement à l'intérieur de la zone portuaire et en partie au-delà du site vers la route principale et la voie ferrée. La probabilité a été déterminée à partir des données historiques issues de Phast and Safeti 7.2 et du manuel de référence Bevi Risk Assessments.
Présentation des risques	Le risque individuel lié à l'exposition du personnel a été identifié dans l'évaluation des risques. L'évaluation quantitative des risques a été réalisée grâce à une analyse par arbre d'événement (voir fig. 13).
Critères d'acceptabilité des risques	Les critères d'acceptation des risques étaient conformes aux directives de la Direction norvégienne de la protection civile. L'évaluation des risques ne couvrait que les risques pour les personnes.
Mesures supplémentaires de réduction des risques mises en œuvre	Mesures de réduction des risques et de prévention : détection de gaz avec arrêt d'urgence automatique, système d'arrosage pour la mousse et l'eau sur la plate-forme de chargement, détection de liquide dans la zone des pompes avec arrêt d'urgence automatique. Le plan d'intervention d'urgence a été communiqué aux autorités locales compétentes en la matière.

Figure 13
Contours des risques individuels du terminal pétrolier norvégien



3. Serbie (transfrontière)

16. Le site s'étend sur environ 710 000 m², dont 10 000 m² d'installations, à proximité de zones industrielles et résidentielles et d'une rivière. Une exposition transfrontière en Roumanie a été envisagée (voir tableau 11 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 11
Résumé de l'étude de cas sur les terminaux pétroliers en Serbie (transfrontière)

Informations clefs	Description
Scénarios d'incidents majeurs	Pollution fluviale transfrontière (Roumanie) possible en cas d'échec des mesures de prévention et d'intervention, résultant du déversement de produits pétroliers dû à l'effondrement d'une barge (quai de chargement/déchargement).
Examen des conséquences des rejets	<p>Aucun décès ou blessure prévus. Il y aura cependant un impact environnemental découlant de la pollution des rivières. Les nappes de pétrole perturbent les échanges d'oxygène, d'humidité et de chaleur entre l'hydrosphère et l'atmosphère et empêchent la pénétration des rayons du soleil dans l'eau.</p> <p>Les conséquences ont été déterminées à partir du modèle Fay de propagation des nappes de pétrole⁷. La largeur de la nappe de pétrole a été estimée à 265 m (diamètre de la nappe de pétrole) et la vitesse de son mouvement sur la surface de l'eau pendant le déversement a été estimée à 3 km/heure. La durée prévue de la pollution était de douze heures et demie. Le volume d'hydrocarbures s'évaporant était de 287 m³ et celui des hydrocarbures déposés sur la côte de 660 m³.</p> <p>Une étude de gestion conjointe des urgences transfrontières dues au déversement de substances dangereuses dans le Danube a été utilisée pour évaluer les conséquences de ce scénario.</p>

⁷ J.A. Fay, « The Spread of Oil Slicks on a Calm Sea » *Oil on the Sea*, D.P. Hoult, ed. (New York, Springer, 1969), p. 53 à 63.

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Probabilité d'occurrence	L'événement déclencheur était l'effondrement de la barge (quai de chargement/déchargement). Les bases de données ARAMIS D1C – APPENDIX 10 – Données génériques sur les fréquences des événements critiques ont été utilisées pour déterminer la probabilité. La probabilité d'effondrement de la barge a été établie à $1,55 \times 10^{-5}/\text{an}$.
Présentation des risques	<p>Le risque environnemental (rivière) a été identifié dans l'évaluation des risques. Une évaluation semi-quantitative des risques a été réalisée en utilisant la méthode ARAMIS et la méthode d'élaboration des rapports de sécurité et du plan de protection contre les accidents.</p> <p>Des niveaux quantitatifs de gravité ont été utilisés dans la matrice des risques (voir tableau 12).</p> <p>Les catégories de probabilité utilisées dans la matrice des risques étaient les suivantes : faible ($<10^{-2}/\text{an}$) ; moyenne (10^{-1} à $10^{-2}/\text{an}$) ; élevée (1 à $10^{-1}/\text{an}$).</p>
Critères d'acceptabilité des risques	L'évaluation des risques comprend la détermination de la probabilité d'occurrence, l'évaluation des conséquences possibles et la détermination qualitative du risque (les niveaux possibles sont négligeable, faible, moyen, élevé et très élevé). Un risque est considéré comme inacceptable s'il est « très élevé » selon la matrice des risques. Les parties prenantes participant à la mise au point de la matrice des risques étaient des professionnels de la gestion et de la sécurité des installations.
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	Intervention manuelle de l'exploitant ; respect des consignes concernant les opérations et les procédures en matière de santé/sécurité/environnement ; mesures de protection comprenant des absorbeurs flottants et des écumeurs ; plan de préparation et d'intervention d'urgence mis en place sur le site ; instructions relatives à la sécurité des opérations avec des dispersants pour la neutralisation des produits pétroliers déversés sur la surface de l'eau des surfaces manipulables. Instructions de travail avec des équipements en cas d'accident à la jonction des rivières.

Tableau 12
Niveaux quantitatifs de gravité utilisés dans la matrice des risques

<i>Gravité</i>	<i>Animaux morts (tonnes)</i>	<i>Sols contaminés (hectares)</i>	<i>Dommages matériels (dinars serbes/€)</i>
Faible	$\leq 0,5$	$\leq 0,1$	$\leq 100\,000/850$
Significatif	0,5–5	0,1–1	100 000–1 million/850–8 500
Important	5–10	1–10	1 million–10 millions/8 500–85 000
Grave	10–30	10–30	10 millions–100 millions/85 000–850 000
Catastrophique	>30	>30	>100 millions/850 000

4. Slovénie

17. Le site, d'une superficie d'environ 250 000 m², est situé à proximité de zones industrielles et résidentielles, d'une rivière et de la mer (voir le tableau 13 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 13

Résumé de l'étude de cas concernant les terminaux pétroliers (Slovénie)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Scénario d'incendie. Déversement de carburant d'un réservoir de stockage dans un bassin de rétention, inflammation et propagation du feu à un autre réservoir.
Examen des conséquences des rejets	Décès ou blessures dus à l'incendie. Les incidences environnementales concernaient les émissions atmosphériques. Exposition des personnes vivant aux alentours de l'installation à des gaz toxiques, exposition du bâtiment adjacent à une surpression et à des radiations dues à l'incendie. Aucun effet transfrontière attendu. Les lignes directrices nationales pour l'identification des dangers et l'évaluation des risques ⁸ ont été utilisées. Le logiciel BREEZE a été utilisé pour modéliser les conséquences.
Probabilité d'occurrence	Les événements déclencheurs étaient les suivants : défaillance du réservoir, inflammation et défaillance des systèmes de refroidissement. La probabilité de l'incident a été estimée à $7,6 \times 10^{-14}$ /an. Le « Red Book » ⁹ a été utilisé comme référence. La probabilité de défaillance des systèmes de refroidissement était de $6,9 \times 10^{-2}$ /an, la défaillance de la cuve : $1,1 \times 10^{-9}$ /an.
Présentation des risques	<p>Les risques individuels ont été identifiés dans l'évaluation des risques. Une évaluation quantitative des risques a été réalisée à partir de la modélisation des conséquences. Les méthodes qualitatives HazOp et HazId ont été utilisées pour l'évaluation des risques.</p> <p>Les niveaux de gravité qualitatifs suivants ont été utilisés :</p> <p>Insignifiant : aucun blessé parmi les employés dans l'installation ou à proximité, les dommages matériels sont mineurs, les dommages environnementaux sont insignifiants.</p> <p>Faible : blessés légers parmi les employés et/ou dommages à des machines et/ou arrêts de production mineurs et/ou pollution environnementale mineure.</p> <p>Grave : Décès ou blessés graves parmi les employés ou dans le voisinage immédiat et/ou destruction importante de l'installation et/ou arrêt de production majeur et/ou dommages environnementaux, mais sans conséquences durables.</p> <p>Catastrophique : plusieurs décès et/ou blessés graves parmi les employés ou les personnes se trouvant à proximité et/ou destruction complète de l'installation et/ou d'autres installations touchées et/ou la population des environs menacée et/ou dommages environnementaux aux conséquences à plus long terme.</p> <p>Les niveaux de probabilité qualitatifs suivants ont été utilisés : insignifiant ; faible ; modéré ; élevé.</p>

⁸ Disponible à l'adresse suivante : https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Industrijske-nesrece/c93c587d86/pripravljenost_na_nesrece.pdf (Slovène).

⁹ J. C. H. Schüller et autres *CPR 12E – Methods for determining and processing probabilities: « Red Book »* (n.p., CPR, 1997). Disponible à l'adresse suivante : <https://publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/publicaties/PGS4.html>.

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Critères d'acceptabilité des risques	Les risques sont considérés comme acceptables s'ils sont évalués comme tels en appliquant les critères de la matrice des risques. Les parties prenantes impliquées dans la détermination de la matrice des risques étaient les professionnels de la gestion et de la sécurité des installations.
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	Alarme incendie, détecteur de flamme infrarouge, système de vidéosurveillance, alarme visuelle et sonore ; les systèmes instrumentés de sécurité étaient les suivants : protection contre la foudre, réservoirs à double fond, raccordement de l'agent extincteur, système de retenue, protection contre la surpression avec soupapes de sécurité, digue anti-incendie, contrôle des fuites de fond ; les mesures de prévention étaient les suivantes : contrôle du niveau, jauges de température, contrôle anti-débordement ; les mesures de protection étaient les suivantes : système de contrôle automatisé pour l'extinction et le refroidissement ; plans d'intervention d'urgence relatifs à la protection et plans d'intervention en cas d'accident lié à des substances dangereuses.

D. Stockage du nitrate d'ammonium

1. Estonie

18. Le site, d'une superficie d'environ 85 000 m², abrite une installation portuaire de stockage de nitrate d'ammonium et d'engrais à base de nitrate d'ammonium et se trouve à proximité d'une zone résidentielle et de la mer (voir le tableau 14 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 14

Résumé de l'étude de cas concernant le stockage du nitrate d'ammonium (Estonie)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Explosion due à la contamination de la cargaison par des corps étrangers ou des impuretés qui peuvent catalyser la réaction d'autodécomposition. L'augmentation de la température du nitrate d'ammonium entraîne un incendie et une explosion. Effets transfrontières considérés comme improbables.
Examen des conséquences des rejets	Conséquences pour les personnes : morts ou blessés dus à l'explosion et à l'incendie. Effets sur l'environnement : pollution résultant de la libération de produits de combustion et de décomposition. Le rejet des eaux d'incendie dans la mer peut entraîner une contamination de l'environnement. Il y aura des dommages à l'extérieur du site, car le port et les zones résidentielles environnantes devront être évacués en raison de l'incident. L'approche fondée sur l'équivalent TNT permet de définir trois types de zones (méthodologie du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord).
Probabilité d'occurrence	Événements déclencheurs mis en évidence : erreurs humaines, problèmes techniques, défaillance du contrôle des procédés, facteurs externes et événements naturels (accidents Natech). La probabilité a été déterminée à l'aide de bases de données HazOp (risque et exploitabilité) et AMDE (analyse des modes de défaillance et de leurs effets). Probabilité d'occurrence de l'incident considérée comme « très faible » (probabilité annuelle comprise entre 0,005 % et 0,05 %)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Présentation des risques	<p>Risques pris en compte : risques individuels et sociétaux (personnes, voisinage, environnement) et pertes matérielles. Une évaluation semi-quantitative des risques a été menée en utilisant les méthodes HazOp et AMDE. L'évaluation des risques a fait appel à la modélisation des conséquences. Le risque a été déterminé à l'aide d'une matrice de risque.</p> <p>Les niveaux de gravité qualitative utilisés étaient les suivants : négligeable ; mineur ; modéré ; majeur ; catastrophique.</p> <p>Les niveaux de probabilité qualitative utilisés étaient les suivants : très peu probable, peu probable, possible, probable, très probable.</p>
Critères d'acceptabilité des risques	Non disponible
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	<p>Système d'alarme sur site et hors site. Mesures de prévention : clôtures, respect des prescriptions de sécurité incendie, système de vidéosurveillance, système de régulation de la température, ventilation de l'entrepôt, diverses alarmes, entretien et exercices d'entraînement. Mesures de protection : équipements de protection individuelle, entrepôt équipé de dispositifs d'évacuation des fumées et de la chaleur, extincteurs et alarme incendie. Plans d'intervention d'urgence interne et externe en cas d'incident.</p>

2. Lettonie

19. Le site, qui abrite une installation de stockage de nitrate d'ammonium et d'engrais à base de nitrate d'ammonium, se trouve à proximité d'une voie ferrée et d'une zone industrielle. La superficie du site n'a pas été précisée (voir le tableau 15 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 15

Résumé de l'étude de cas concernant le stockage du nitrate d'ammonium (Lettonie)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Feu d'engin de chargement ou de camion avec dégagement d'ammoniac (gaz toxique). Effets transfrontières considérés comme impossibles.
Examen des conséquences des rejets	<p>Conséquences pour les personnes : morts ou blessés dus à l'incident. Les effets toxiques des oxydes d'azote ont été étudiés en évaluant les concentrations à des hauteurs de 1,5 m (personnes se trouvant à l'extérieur) et de 5 m (ouvertures du bâtiment).</p> <p>Conséquences : dommages à l'extérieur du site, maladies respiratoires résultant de l'exposition, décès et autres blessures. Les conséquences ont été évaluées pour une distance correspondant à un taux de létalité de 1 %.</p> <p>Conséquences modélisées à l'aide du Purple Book.</p>
Probabilité d'occurrence	Événements déclencheurs mis en évidence : erreur humaine et défaillance du contrôle des procédés. Probabilité d'occurrence de l'incident déterminée à l'aide du « Red Book ».

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Présentation des risques	Risques pris en compte : risques individuels et sociétaux. Une évaluation qualitative des risques a été menée à l'aide de la méthode AMDE. Des méthodes d'évaluation quantitative des risques ont également été prises en compte et utilisées.
Critères d'acceptabilité des risques	Critère d'acceptabilité retenu pour le risque individuel : 10^{-6} , conformément aux recommandations des Pays-Bas.
Mesures supplémentaires de réduction des risques mises en œuvre	Mesure de prévention mise en œuvre : limitation de la quantité de nitrate d'ammonium par tas. Plan d'intervention d'urgence en cas d'incident.

3. Pays-Bas

20. Le site, dont la superficie est inconnue, abrite une installation de production d'engrais à base de nitrate d'ammonium et de stockage d'ammoniac. Les informations concernant l'exposition du voisinage n'ont pas été fournies. Le scénario étudié est très proche de ceux portant sur la réfrigération à l'ammoniac, car la substance et les conséquences sont identiques (voir le tableau 16 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 16

Résumé de l'étude de cas concernant le stockage du nitrate d'ammonium (Pays-Bas)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Rejets d'ammoniac (rupture de réservoir, rupture de tuyauterie). Effets transfrontières considérés comme improbables.
Examen des conséquences des rejets	Conséquences pour les personnes : risque de décès des personnes se trouvant à l'extérieur des locaux de l'installation. Le nombre de décès attendus a été calculé à l'aide de modèles intégraux d'évaluation des risques. Effets sur l'environnement étudiés : impacts des rejets. Probabilité de décès et nombre de décès calculés à l'aide des fonctions Probit pour les substances toxiques. Zone de danger pour le public déterminée en utilisant des niveaux d'intervention (comparables aux seuils AEGL). Conséquences modélisées à l'aide du Purple Book. Accès aux nouvelles fonctions Probit pour les substances toxiques et aux niveaux d'intervention en cas d'exposition à des substances toxiques par l'intermédiaire du site Web du RIVM. Conséquences modélisées à l'aide des logiciels Phast et Safeti.
Probabilité d'occurrence	Événements déclencheurs mis en évidence : erreur humaine, défaillance du contrôle des procédés et dégradation des matériaux (corrosion). Probabilité d'occurrence de l'incident déterminée à l'aide du Red Book et du Purple Book.

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Présentation des risques	<p>Probabilité d'occurrence de l'incident déterminée à l'aide du Purple Book.</p> <p>Probabilité d'une défaillance catastrophique d'un récipient sous pression contenant de l'ammoniac : $10^{-6}/\text{an}$.</p> <p>Risques étudiés : exposition à l'ammoniac (gaz toxique). Risques pris en compte pour les calculs : risques individuels et sociétaux.</p> <p>Détermination de la zone de danger pour le public (exposition à des concentrations à l'intérieur des bâtiments supérieures au seuil potentiellement léthal). L'évaluation quantitative des risques a été réalisée en utilisant un ensemble normalisé de scénarios et de fréquences, associé à la modélisation des conséquences.</p> <p>La matrice de risque n'a pas été utilisée. Risque synthétisé en tenant compte du risque individuel et du risque sociétal (courbe F-N).</p>
Critères d'acceptabilité des risques	<p>Critères d'acceptabilité des risques fixés par la réglementation : probabilité inférieure à $10^{-6}/\text{an}$ à l'emplacement des maisons pour le risque individuel ; probabilité égale à $10^{-3}.N^{-2}/\text{an}$ pour le risque sociétal. Pour la courbe du risque sociétal, voir le Purple Book.</p> <p>Les critères concernent uniquement les risques pour les personnes, pas les risques environnementaux.</p> <p>Les critères d'acceptabilité des risques reposent sur les dispositions législatives nationales.</p>
Mesures supplémentaires de réduction des risques mises en œuvre	<p>L'évaluation des risques a été utilisée à des fins d'aménagement du territoire à l'extérieur du site, et non pour déterminer les mesures de réduction des risques. L'entreprise doit mettre en œuvre des mesures fondées sur la matrice de risque et approuvées par les autorités compétentes.</p>

E. Chlore

1. France

21. Le site, d'une superficie d'environ 560 000 m², se trouve à proximité d'une voie ferrée, d'une autoroute et de deux usines (voir le tableau 17 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 17

Résumé de l'étude de cas concernant le chlore (France)

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Scénarios d'incidents majeurs	Rejets de chlore (gaz toxique). Effets transfrontières considérés comme improbables.
Examen des conséquences des rejets	<p>Le scénario le plus défavorable, considéré comme « extrêmement improbable », envisageait deux morts et 94 blessés. Les rejets de gaz toxique dans l'atmosphère auraient des effets sur l'environnement.</p> <p>Des valeurs seuils nationales similaires aux seuils de danger immédiat pour la vie ou la santé ont été utilisées. La modélisation des conséquences (dispersion des gaz) a été réalisée à l'aide des logiciels ALOHA, Phast et FLame ACceleration Simulator (FLACS), en utilisant la base de données nationale publiée par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris).</p>

<i>Informations clefs</i>	<i>Description</i>
Probabilité d'occurrence	<p>Événement déclencheur mis en évidence : défaillance de l'équipement. La probabilité de défaillance des mesures de maîtrise des risques a été déterminée à l'aide des bases de données propriétaires d'Arkema (DOROTE), de Safecalc et d'EXE (calcul pour des taux de défaillance comprise entre 10^{-2} et 10^{-3}/an).</p> <p>Probabilité d'occurrence d'une perte de confinement comprise entre 5 secondes et 60 minutes : de $8,5 \times 10^{-6}$ à $8,6 \times 10^{-8}$/an, respectivement. Probabilité d'une rupture de conduite d'une durée de 60 minutes : $5,3 \times 10^{-5}$/an.</p>
Présentation des risques	<p>Risque individuel dû à l'exposition au chlore gazeux. Évaluation qualitative des risques à l'aide d'un diagramme « nœud papillon ». Évaluation des risques à l'aide d'une matrice de risque.</p> <p>Les niveaux de gravité qualitative utilisés étaient les suivants :</p> <p>Modéré : aucune blessure ou décès ;</p> <p>Grave : blessure ou maladie mineure ;</p> <p>Important : hospitalisation ou incapacité permanente due à l'exposition ;</p> <p>Catastrophique ou désastreux : décès</p> <p>Les niveaux de probabilité qualitative utilisés étaient les suivants : extrêmement improbable ; très improbable ; improbable ; probable ; fréquent.</p>
Critères d'acceptabilité des risques	<p>Les critères d'acceptabilité des risques ont été déterminés à partir des critères nationaux (circulaire du 10 mai 2010), en associant les niveaux qualitatifs et quantitatifs, c'est-à-dire en tenant compte de la gravité du scénario et de la probabilité associée. Le tableau 18 donne un exemple de critères d'acceptabilité des risques.</p> <p>Les méthodes d'évaluation des risques sont différentes selon qu'il s'agit des personnes ou de l'environnementaux. Les impacts sur l'environnement ont été examinés au cas par cas selon une approche qualitative.</p> <p>Parties prenantes participant à l'élaboration de la matrice des risques et des critères d'acceptabilité des risques : direction de l'installation, spécialistes de la sécurité et autorités compétentes locales.</p>
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	<p>Présence de détecteurs de gaz toxiques et de systèmes d'alarme.</p> <p>Mesures de prévention : tests d'étanchéité réguliers, tuyaux et joints en acier, rinçage à l'azote. Mesures de protection : utilisation de cales et de freins pour les wagons de chlore. Plans d'intervention d'urgence en cas de rejet de gaz toxiques dans l'installation et dans les installations environnantes. Procédure particulière de prévention de la pollution de l'eau.</p>

Tableau 18

Critères d'acceptabilité des risques liés au chlore (France)

GRAVITÉ des conséquences	PROBABILITÉ (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux	NON partiel (établissements nouveaux : note 2) / MMR rang 2 (établissements existants : note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3	NON Rang 4
Catastrophique	MMR Rang 1	MMR Rang 2 (note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3
Important	MMR Rang 1	MMR Rang 1	MMR Rang 2 (note 3)	NON Rang 1	NON Rang 2
Sérieux			MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON Rang 1
Modéré					MMR Rang 1

Abréviation : MMR, mesure de management des risques.

2. Hongrie

22. Le site, d'une superficie d'environ 33 500 m², se trouve à proximité d'une zone résidentielle (300 m) et d'une zone industrielle (100 m) (voir tableau 19 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 19

Critères d'acceptabilité des risques liés au chlore (Hongrie)

Informations clefs	Description
Scénarios d'incidents majeurs	Présence d'un wagon-citerne de 40 m ³ contenant 50 tonnes de chlore (phase liquide) sous une pression de 4,2 bars (manomètre). Trois scénarios ont été envisagés : une rupture catastrophique, un rejet de 10 minutes et une fuite de 10 mm. Le scénario le plus défavorable est un rejet de 10 minutes. Effets transfrontières considérés comme improbables pour tous les scénarios. L'analyse quantitative complexe des risques tient compte de toutes les conditions météorologiques possibles. Les hypothèses retenues pour les conséquences présentées ci-dessous sont les suivantes : vitesse du vent de 1 m/s et classe de stabilité Pasquill F (atmosphère très stable).
Examen des conséquences des rejets	<p>Le nombre de morts et de blessés attendus est le suivant : Taux de létalité de 100 % : 0 personne (environ 380 m) ; taux de létalité de 50 % : 1 000 personnes (environ 700 m) ; taux de létalité de 10 % : 3 800 personnes (environ 1 300 m) ; taux de létalité de 1 % : 5 000 personnes (environ 2 400 m).</p> <p>Effets sur l'environnement étudiés : impacts des rejets de chlore (gaz toxique dans l'atmosphère). Les zones résidentielles environnantes devront être évacuées.</p> <p>Probabilité de décès calculé à l'aide des fonctions Probit. Le Green Book et le logiciel Safeti 8.4 ont été utilisés pour modéliser les conséquences.</p> <p>Résultats de la modélisation des conséquences : courbes de probabilité de décès en fonction de la distance pour le scénario le plus défavorable (rejet de 50 tonnes de chlore pendant 10 minutes, voir fig. 14) et contours de probabilité de décès pour les conditions météorologiques les plus défavorables (vitesse et direction du vent, stabilité de l'atmosphère) (voir fig. 15).</p>

Informations clefs	Description
Probabilité d'occurrence	Événements déclencheurs : défaillance structurelle et effets domino provenant d'autres installations. Le manuel de référence Bevi Risk Assessments et le Purple Book ont été utilisés pour déterminer la probabilité d'un incident. Probabilité de libération de la totalité du contenu de la citerne en 10 minutes sous la forme d'un jet continu et constant de gaz toxique liquide égale à $5 \times 10^{-6}/\text{an}$.
Présentation des risques	<p>L'évaluation complète des risques posés par l'installation tient compte de tous les scénarios possibles, y compris la perte de confinement de différents conteneurs, conduites et cuves de traitement. Tous les scénarios susceptibles de contribuer de manière significative au risque individuel en un point donné ou au risque sociétal et qui remplissent les deux conditions suivantes ont été inclus dans l'analyse quantitative du risque : fréquence du scénario $\geq 10^{-9}/\text{an}$ et risque de blessure mortelle (taux de létalité de 1 %) en dehors des limites du site.</p> <p>La matrice de risque n'a pas été utilisée pour l'évaluation des risques. Éléments présentés : matrice des conditions météorologiques (vitesse et direction du vent, stabilité de l'atmosphère) ; rapport de hiérarchisation des risques ; risques individuels et sociétaux (voir fig. 16 et 17).</p>
Critères d'acceptabilité des risques	<p>Détermination des zones de risque acceptable et inacceptable en fonction du niveau de risque et du nombre de décès (voir fig. 18).</p> <p>Des critères différents ont été utilisés pour les risques pour les personnes et les risques environnementaux. Les critères relatifs aux risques environnementaux étaient qualitatifs, les règlements ne fournissant que des orientations pratiques. Parties prenantes participant à l'élaboration des critères d'acceptabilité des risques : exploitant et consultants agréés.</p>
Mesures de réduction des risques mises en œuvre*	<p>Détecteurs de gaz toxiques et systèmes d'alarme. Systèmes instrumentés de sécurité (SIS) : niveau, pression et température.</p> <p>Mesures de prévention : rideau d'eau fixe (buses de pulvérisation) autour du point de déchargement des wagons-citernes (environ 20 x 5 m), le système est vérifié manuellement de manière périodique. Plans d'intervention d'urgence interne et externe.</p>

Figure 14
Probabilité de décès en fonction de la distance – rejet de chlore (Hongrie)

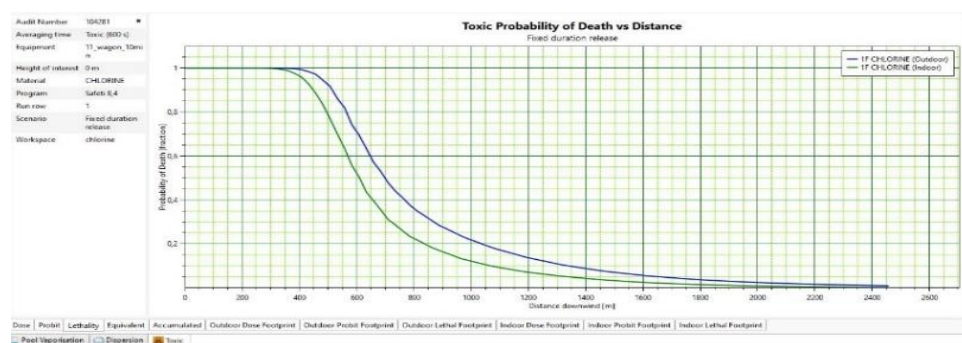


Figure 15

Contours de probabilité de décès due à la toxicité du chlore – taux de létalité de 1 %, 5 %, 50 % et 100 % (Hongrie)

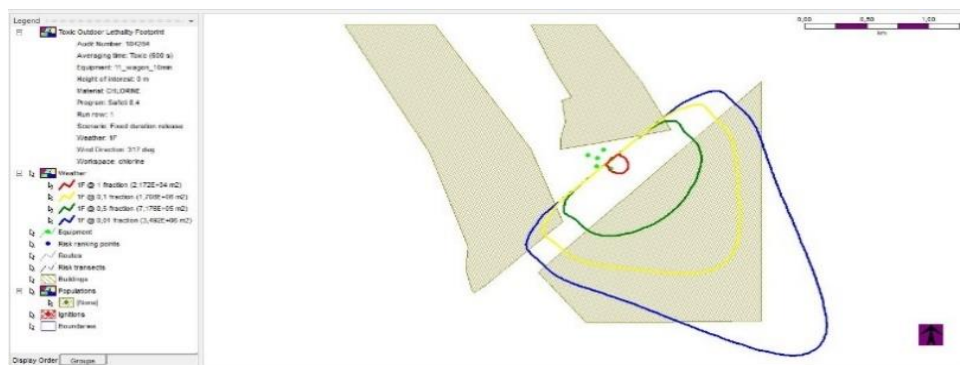


Figure 16

Contours de risque individuel – rejet de chlore (Hongrie)

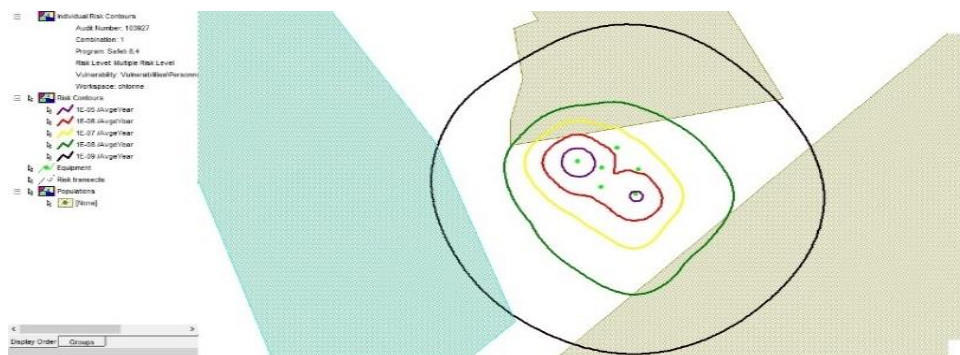


Figure 17

Courbe F-N de risque sociétal – rejet de chlore (Hongrie)

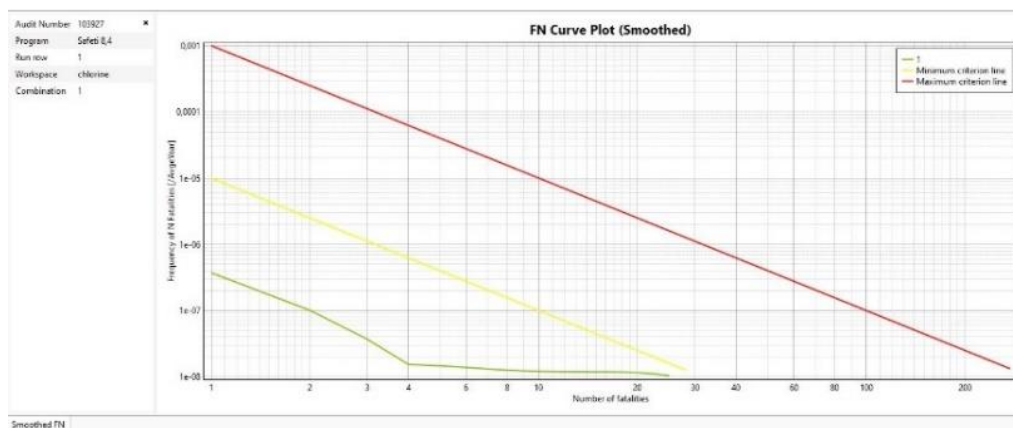
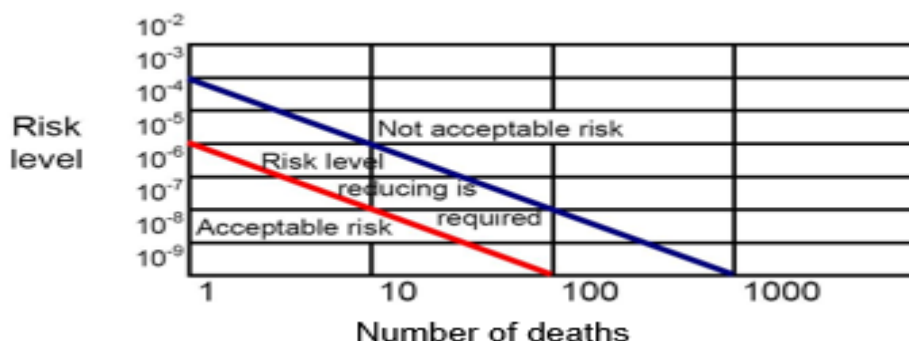


Figure 18
Critères d'acceptabilité des risques liés au chlore (Hongrie)



3. Suisse (contexte transfrontière)

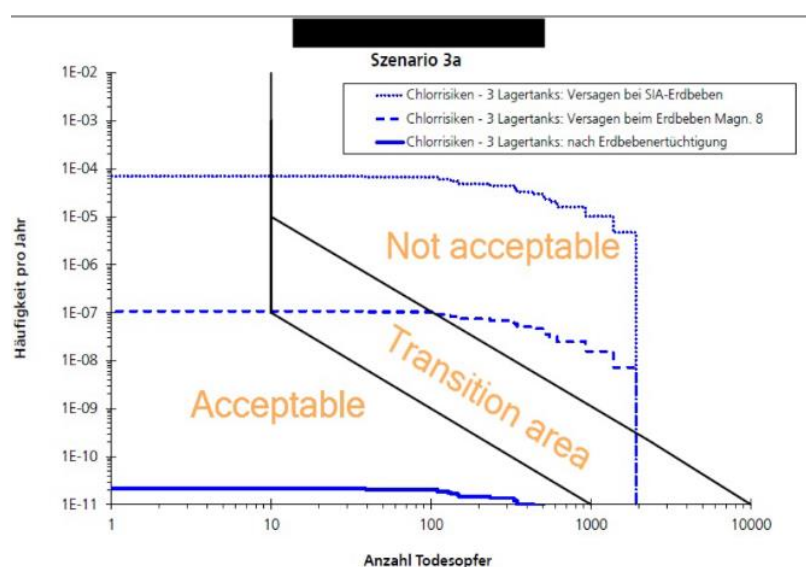
23. Le site, d'une superficie d'environ 160 000 m², abrite une ancienne installation d'électrolyse de chlorures alcalins implantée dans un parc industriel. Les informations concernant l'exposition du voisinage n'ont pas été fournies. Une exposition transfrontière (Allemagne) a été envisagée (voir tableau 20 pour le résumé de l'étude de cas).

Tableau 20
Critères d'acceptabilité des risques liés au chlore (Suisse, contexte transfrontière)

Informations clefs	Description
Scénarios d'incidents majeurs	Différents scénarios de rejet de chlore (gaz toxique). Scénario le plus défavorable : destruction des réservoirs de stockage du chlore en cas de séisme. Effets transfrontières considérés comme possibles (pays touché : Allemagne). Le pays voisin a été notifié.
Examen des conséquences des rejets	Conséquences pour les personnes : 2 000 morts selon l'évaluation des risques. En cas de tremblement de terre, aucune évacuation ne serait possible, en raison de la destruction à grande échelle des infrastructures et bâtiments publics. La zone touchée en Allemagne n'étant pas habitée, aucune évaluation quantitative des dommages transfrontières n'a été réalisée. Modélisation des conséquences réalisée à l'aide du logiciel EFFECTS.
Probabilité d'occurrence	Événement déclencheur : tremblement de terre. La probabilité d'occurrence a été déterminée conformément à la norme de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA). Probabilité d'un séisme dans la région (SIA) : environ 10^{-3} /an (une fois tous les 475 ans).
Présentation des risques	Risque sociétal dû à l'exposition au chlore. Évaluation qualitative des risques à l'aide d'une analyse par arbre de défaillances et d'une analyse par arbre d'événements. Évaluation des risques à l'aide d'une matrice de risque. Les niveaux de gravité quantitative de la matrice des risques étaient basés sur le nombre de décès. Les niveaux de probabilité quantitatifs de la matrice de risque sont compris entre 10^{-1} /an et 10^{-10} /an (voir fig. 19).

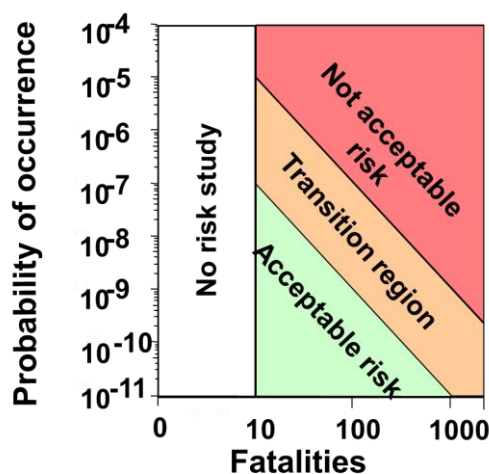
Informations clefs	Description
Critères d'acceptabilité des risques	<p>L'Office fédéral de l'environnement suisse a élaboré un document contenant des critères quantitatifs d'acceptabilité du risque sociétal. Des critères différents ont été utilisés pour les risques pour les personnes et les risques environnementaux. Parties prenantes participant à l'élaboration de la matrice des risques : direction de l'installation et spécialistes de la sécurité.</p> <p>Détermination de trois zones de risque en fonction de la fréquence annuelle des incidents (axe Y) et du nombre de décès (axe X), à savoir « Acceptable », « Zone intermédiaire » et « Non acceptable » (voir fig. 20).</p> <p>En Suisse, les critères quantitatifs d'acceptabilité des risques sont les mêmes qu'il s'agisse des personnes ou de l'environnement (l'unité de l'axe des X est différente).</p>
Mesures supplémentaires de réduction des risques mises en œuvre	Rénovation parasismique du bâtiment de stockage et concept de barrière secondaire. Plans d'intervention d'urgence en cas de dégagement de gaz toxique dans l'installation, notamment ajout de thiosulfate de sodium au système de gicleurs et camion d'incendie spécial.

Figure 19
Présentation des risques liés au chlore (Suisse, contexte transfrontière)



Remarque : « Häufigkeit pro Jahr » signifie « Fréquence annuelle » ; « Anzahl Todesopfer » signifie « Nombre de décès » ; « Szenario 3a » signifie « Scénario 3a » ; « Chlorrisiken » signifie « Risques liés au chlore » ; « Lagertanks » signifie « Réservoirs de stockage » ; « Versagen bei SIA-Erdbeben » signifie « Défaillance en cas de séisme selon les calculs SIA » ; « Versagen beim Erdbeben Magn. 8 » signifie « Défaillance en cas de séisme de magnitude 8 » ; « nach Erdbebenertüchtigung » signifie « après la mise à niveau sismique ».

Figure 20
Critères d'acceptabilité des risques concernant le chlore
(Suisse, contexte transfrontière)



IV. Principales conclusions

24. Le présent rapport a examiné les méthodes d'évaluation des risques utilisées dans 18 études de cas des pays de la CEE, y compris des exemples transfrontières dans le cas de la Serbie (terminal pétrolier) et en Suisse (réfrigération à l'ammoniac et chlore). Les études de cas analysées correspondent à cinq types d'installations différentes : GPL/GNL, réfrigération à l'ammoniac, terminaux pétroliers, stockage de nitrate d'ammonium et chlore.

25. L'examen des évaluations des risques a mis en évidence les points suivants :

a) Similitudes : La plupart des études de cas présentent des similitudes en ce qui concerne les éléments vulnérables situés à proximité, les bases de données et les ressources utilisées pour déterminer les paramètres d'évaluation des risques tels que la gravité et la probabilité, et les logiciels de modélisation des conséquences ;

b) Type d'installation : Le type d'installation détermine la principale substance dangereuse et de ce fait le type de conséquences, mais n'a pas d'influence sur la plupart des autres paramètres évalués, tels que les considérations environnementales, le type d'évaluation des risques réalisée, les outils ou les bases de données utilisés. La taille de l'installation et la proximité de zones habitées ont plus d'incidence sur l'ampleur des conséquences que le type d'installation ;

c) Taille de l'installation : Les études de cas sélectionnées couvrent un large éventail de tailles (1 000 à 600 000 m²) ;

d) Causes des incidents : Les causes d'incidents les plus courantes mises en évidence par les évaluations sont une erreur humaine, une défaillance structurelle, une défaillance des équipements, un problème technique, une défaillance du contrôle des procédés ou une catastrophe naturelle (tremblement de terre, orage). Le type d'installation ne semble pas avoir d'incidence significative sur la cause de l'incident. Les causes dépendent plus probablement des caractéristiques du scénario d'incident sélectionné. L'erreur humaine ne figure pas dans la liste des événements déclencheurs indépendants dans tous les scénarios ;

e) Probabilité : Les probabilités d'occurrence des événements déclencheurs varient considérablement, de 10^{-2} /an à 10^{-14} /an ;

f) Modélisation des conséquences : Plusieurs études de cas comprennent une modélisation des conséquences sur le site et à l'extérieur du site en cas de rayonnement thermique, de dispersion des substances toxiques et d'explosion. Parmi le petit ensemble d'outils logiciels utilisés, on peut citer Phast, Safeti, EFFECTS, ALOHA et BREEZE. On trouvera à l'annexe du présent document une liste répertoriant de nombreux autres logiciels disponibles dans le commerce et leurs applications. L'utilisation d'un nombre limité de

progiciels peut faciliter le transfert des résultats entre les parties prenantes ainsi que leur compréhension ;

g) Bases de données : Parmi les bases de données et les références utilisées pour modéliser les conséquences, on peut citer le Purple Book, le Green Book et le Yellow Book. Les bases de données et références générales employées pour déterminer la probabilité d'un incident sont notamment le Red Book et le Purple Book :

i) Les bases de données propres aux pays sont les suivantes : la base de données du RIVM (Pays-Bas), la classification des zones dangereuses, la liste de contrôle des procédures de la TÜV (Allemagne), la base de données du système de gestion des informations de la recherche de l'administration générale (Suisse), les directives relatives à l'aide à la restructuration économique de la Pologne et de la Hongrie, la norme de la Société suisse des ingénieurs et des architectes et la base de données propriétaire d'Arkema ;

ii) Les « livres de couleur » (Green Book, Yellow Book, Purple Book, Red Book) et les publications du RIVM semblent être des références communes largement utilisées dans différents pays ;

h) Présentation des risques : Dans la plupart des études de cas, les résultats sont présentés sous la forme de matrices de risque et font appel à des méthodes d'évaluation des risques qualitatives comme quantitatives. La probabilité d'occurrence de la plupart des scénarios d'incidents envisagés pour l'évaluation des risques est faible. Les matrices de risques utilisées comportent 3 à 5 niveaux de gravité et de probabilité, ce qui semble être la norme pour les évaluations de risques dans les pays de la CEE. Les degrés de gravité et de probabilité dépendent du type de matrice de risque utilisé et varient fortement en fonction des parties prenantes participant à l'évaluation et des critères d'acceptabilité des risques retenus. Les études de cas qui n'ont pas recours aux matrices de risque font appel à des critères d'acceptabilité des risques reposant sur la gravité et la probabilité des incidents, ce qui témoigne d'une approche similaire à celle de la matrice de risques ;

i) Critères d'acceptabilité des risques : Les critères d'acceptabilité des risques diffèrent sensiblement selon le pays, l'entreprise, la localité et les parties prenantes participant à l'évaluation, par exemple des spécialistes de la sécurité des procédés, la direction et les exploitants des installations et les autorités compétentes. Il semble qu'en dernière instance les critères d'acceptabilité des risques dépendent essentiellement de deux facteurs : la réglementation du pays et la matrice de risque élaborée par les parties prenantes. Pour chaque type d'installation, certains pays appliquent des valeurs limites alors que d'autres utilisent des critères d'acceptabilité sur mesure fondés sur le risque individuel ou sociétal, avec des zones acceptables et inacceptables définies en fonction des niveaux de risque et du nombre de décès, comme dans une évaluation de type matrice de risque ;

j) Aspects environnementaux : Dans la plupart des études de cas, les critères sont différents selon qu'il s'agit de risques pour les personnes ou de risques environnementaux. Très peu de pays examinent les impacts environnementaux de manière quantitative. Les critères relatifs aux risques environnementaux sont des critères qualitatifs dans la majorité des études de cas ;

k) Aspects transfrontières : Très peu d'études de cas abordent les effets transfrontières. Lorsqu'une évaluation des risques transfrontières doit être réalisée, le choix des critères d'acceptabilité et des sources de données, tant pour les probabilités que pour les conséquences, devrait faire l'objet d'un accord préalable.

26. Les enseignements tirés de ces études de cas peuvent être utilisés pour améliorer les méthodes d'évaluation des risques existantes et faciliter l'échange d'idées entre les pays de la CEE afin de renforcer la sécurité des installations, des populations voisines et de l'environnement.

Annexe

Liste des outils logiciels actuellement disponibles

1. La présente annexe répertorie les principaux outils logiciels pouvant être utilisés pour évaluer les risques. Les listes figurant à la présente annexe ne sont pas exhaustives et d'autres outils comparables sont disponibles, y compris des logiciels anciens qui ne sont plus pris en charge par l'éditeur. L'objectif est de mettre en évidence la variété des solutions disponibles pour mener à bien les différentes tâches de l'évaluation des risques.

I. Logiciels d'analyse des risques

2. Bien que des outils logiciels d'analyse des risques soient disponibles dans le commerce, de nombreuses entités développent leurs propres structures de fichiers dans des logiciels de traitement de texte, des tableurs ou des bases de données (par exemple, la suite Microsoft Office).

3. Les logiciels présentés au tableau A.1 offrent un cadre permettant de conduire des analyses des risques liés aux procédés, de les documenter et de s'appuyer sur des études antérieures.

Tableau A.1
Logiciels d'analyse des risques

Nom	Hazop ^{+a}	PHA Pro ^b	PHA-Tool ^c	PHAWorks ^d
Concepteur	Isograph	Sphera	BakerRisk	Primatech
Finalité	HazOp	Analyse des risques liés aux procédés (diverses méthodes)		
Utilisation	Documentation et gestion des risques liés aux procédés			
Avantages	Prise en charge de la méthode HazOp	Prise en charge des méthodes HazOp et What-If ; registre des hypothèses et journal des modifications inclus. Matrice de risque interactive personnalisable ; possibilité de regrouper les recommandations.		
Limites	Les autres méthodes ne sont pas prises en charge	L'analyse avancée requiert des modules supplémentaires.		
Disponibilité	Sous licence			

Abréviations : HazOp, risque et exploitabilité.

^a Disponible à l'adresse suivante : www.isograph.com/software/hazop/.

^b Disponible à l'adresse suivante : <https://sphera.com/pha-pro-software/>.

^c Disponible à l'adresse suivante : www.bakerisk.com/products/software-tools/pha-tool.

^d Disponible à l'adresse suivante : www.primatech.com/software/phaworks.

II. Logiciels d'analyse par arbre d'événements ou par arbre de défaillances

4. Plusieurs outils logiciels d'analyse des risques – analyse par arbre de défaillances (AAD) et par arbre d'événements (AAE) d'une part et analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) et des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) associées d'autre part – sont disponibles dans le commerce, y compris des versions gratuites aux fonctionnalités limitées et des options basées sur le cloud ou en ligne (voir tableau A.2).

Tableau A.2

Logiciels d'analyse par arbre d'événements ou par arbre de défaillances

Nom	CAFTA ^a	ITEM ToolKit ^b	Reliability Workbench/FaultTree+ ^c	RAM Commander ^d	RiskSpectrum ^e
Concepteur	EPRI	ITEM Software	Isograph	ALD Software Limited	Lloyd's Register
Finalité	AAD, AAE	AAD, AAE, AMDE/AMDEC	AAD, AAE, AMDE/AMDEC	AAD, AAE, AMDEC	AAD, AAE
Utilisation	Analyse générique par arbre de défaillances et par arbre d'événements		Modélisation et analyse des arbres de défaillances et des arbres d'événements associés.	Évaluation de la fiabilité des systèmes électroniques ou mécaniques.	Modélisation et analyse des arbres de défaillances et des arbres d'événements associés
Avantages	Simplification de la modélisation des conséquences des accidents grâce aux arbres d'événements. Intégration facile des arbres de défaillances, des arbres d'événements et de la base de données de fiabilité	Hiérarchisation des éléments en fonction de leur importance ; intégration avec d'autres modules portant sur la fiabilité et le calcul des coûts du système.	Bibliothèques intégrées de données sur les défaillances. Possibilité d'associer des modules consacrés à la fiabilité.	Analyse détaillée au niveau de l'équipement ou du système ; analyse de sensibilité.	Possibilité d'associer des modules consacrés aux composantes du risque, notamment l'analyse de la fiabilité humaine. Possibilité de prendre en compte des événements internes, locaux (incendie et inondation) et externes (séisme).
Prise en compte des conditions propres au site	Oui				Oui

^a Disponible à l'adresse suivante : www.epri.com/research/products/000000003002004316.

^b Disponible à l'adresse suivante : www.itemsoft.com/item_toolkit.html.

^c Disponible à l'adresse suivante : www.isograph.com/software/reliability-workbench/fault-tree-analysis-software/.

^d Disponible à l'adresse suivante : <https://aldservice.com/reliability-products/rams-software.html>.

^e Disponible à l'adresse suivante : www.lr.org/en/riskspectrum/technical-information/psa/.

<i>Nom</i>	<i>CAFTA^a</i>	<i>ITEM ToolKit^b</i>	<i>Reliability Workbench/FaultTree+^c</i>	<i>RAM Commander^d</i>	<i>RiskSpectrum^e</i>
<i>Limites</i>	Accès au logiciel réservé aux membres de l'EPRI	Les données de fiabilité doivent être personnalisées par l'utilisateur		Conforme aux normes de l'industrie aérospatiale, de la défense et des transports.	Algorithme de calcul propriétaire. Orienté industrie nucléaire
<i>Disponibilité</i>	Sous licence ; la version de démonstration ne permet pas d'enregistrer des fichiers.	Sous licence ; la version de démonstration ne permet pas d'enregistrer des fichiers, la durée des sessions est limitée.	Sous licence	Sous licence	Sous licence

Abréviations : EPRI, Electric Power Research Institute.

III. Logiciels d'analyse quantitative des risques

5. Le tableau A.3 présente un aperçu des logiciels d'analyse quantitative des risques disponibles dans le commerce.

Tableau A.3

Logiciels d'analyse quantitative des risques

<i>Nom</i>	<i>ARIPAR^a</i>	<i>FLACS-RISKCURVES^b</i>	<i>QRATool^c</i>	<i>RAPID-N^d</i>	<i>Safeti^e</i>	<i>SHEPHERD^f</i>
<i>Concepteur</i>	JRC	TNO (Propriétaire : GexCon)	BakerRisk	JRC	DNV	Shell (Propriétaire : GexCon)
<i>Description</i>	Évaluation quantitative de l'exposition aux risques d'une zone fondée sur l'évaluation des risques résultant d'accidents majeurs liés à des substances dangereuses.	Quantification des risques liés au stockage et au transport de substances dangereuses pour la population et les infrastructures voisines (environnement urbain et installations chimiques).	Agrégation des conséquences calculées par le logiciel SafeSite et application des informations sur la fréquence.	Accidents Natech dans les infrastructures chimiques critiques.	Analyse quantitative des risques liés aux installations de traitement, de chimie et de pétrochimie (à terre).	Logiciel de gestion des risques conçu pour les installations et opérations à terre.
<i>Finalité</i>	Polyvalent	Polyvalent	Polyvalent	Natech	Polyvalent	Pétrole/gaz (à terre)
<i>Utilisation</i>	Contours de risque et courbes F-N	Évaluation des activités ou scénarios à haut risque, planification urbaine, critères réglementaires et critères de l'entreprise.	Évaluation et hiérarchisation des risques d'explosion, d'incendie et de toxicité et stratégies d'atténuation. Détermination des risques individuels ou sociétaux. Cartographie des conséquences	Accidents Natech impliquant des rejets de substances dangereuses, des incendies et des explosions.	Contours de risque, courbes F-N et hiérarchisation des facteurs de risque. Prise en compte des populations voisines et des conditions météorologiques locales.	Analyse des risques.

^a Disponible à l'adresse suivante : <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC66551>.

^b Disponible à l'adresse suivante : <https://gexcon.com/products-services/riskcurves-software/>.

^c Disponible à l'adresse suivante : www.bakerrisk.com/products/software-tools/qratool/.

^d Rapid NaTech Risk Assessment Tool, disponible à l'adresse suivante : <https://rapidn.jrc.ec.europa.eu/>.

^e Disponible à l'adresse suivante : <https://dnv.com/safeti>.

^f Disponible à l'adresse suivante : <https://gexcon.com/products-services/shell-shepherd-software/>.

<i>Nom</i>	<i>ARIPAR^a</i>	<i>FLACS-RISKCURVES^b</i>	<i>QRATool^c</i>	<i>RAPID-N^d</i>	<i>Safeti^e</i>	<i>SHEPHERD^f</i>
<i>Prise en compte des risques liés au transport des produits chimiques</i>	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
<i>Avantages</i>	Définition des zones de risques faisant appel à une plateforme SIG (système d'information géographique).	Architecture ouverte permettant l'utilisation de données provenant de différents logiciels.	Comparaison des risques individuels ou sociétaux en fonction des options sélectionnées.	Seul outil connu pour les accidents Natech.	Bibliothèque de produits chimiques incluse	
<i>Résultats rapides</i>	Oui				Oui	
<i>Cartographie des zones de risque</i>	Oui		Oui		Oui	Oui
<i>Analyse de sensibilité</i>	Oui					Oui
<i>Vérification et validation accessibles au public</i>	Oui	Oui (dans le Yellow Book)		Oui		
<i>Prise en compte des conditions propres au site</i>	Oui		Oui		Oui	Oui
<i>Limites</i>	Modèles physiques non décrits	Nécessité de disposer de données complexes	Utilisation exclusive des résultats de l'analyse des conséquences de SafeSite, sans possibilité d'importer d'autres données	Utilisation des données figurant dans les directives pour l'analyse des conséquences hors site du programme de gestion des risques de l'EPA (RMP Guidance for Off-site Consequence Analysis)	Modèles intégraux	Pas de modélisation des rejets toxiques

<i>Nom</i>	<i>ARIPAR^a</i>	<i>FLACS-RISKCURVES^b</i>	<i>QRATool^c</i>	<i>RAPID-N^d</i>	<i>Safeti^e</i>	<i>SHEPHERD^f</i>
<i>Pas de modélisation des conséquences environnementales</i>	X		X	X	X	X
<i>Vérification et validation inaccessibles au public</i>			X		X	X
<i>Disponibilité</i>	Abandonné	Sous licence	Sous licence	Gratuit avec déclaration de renonciation	Sous licence	Sous licence

Abréviations : EPA, Agence de protection de l'environnement des États-Unis ; RMP, Programme de gestion des risques.

IV. Logiciels d'analyse des conséquences

6. Le tableau A.4 présente un aperçu des logiciels d'analyse des conséquences disponibles dans le commerce.

Tableau A.4

Logiciels d'analyse des conséquences

<i>Nom</i>	<i>ADAM^a</i>	<i>ALOHA^b</i>	<i>BREEZE^c</i>	<i>CANARY^d</i>	<i>DEGADIS^e</i>
<i>Concepteur</i>	JRC	EPA	Trinity Consultants	Quest Consultants	EPA
<i>Description</i>	Calcul des effets physiques des accidents industriels : rejet involontaire d'une substance dangereuse, incendie d'origine chimique, effet de souffle d'une explosion de nuage de vapeur et inhalation de vapeurs chimiques toxiques	Modélisation des rejets chimiques pour les services d'interventions d'urgence et les responsables élaborant les plans d'urgence. Calcul de la dispersion des nuages toxiques résultant d'un rejet de produits chimiques et élaboration de plusieurs scénarios d'incendie et d'explosion.	Plateforme multimodule de modélisation de la dispersion atmosphérique ; modélisation des incendies, des explosions, des rejets toxiques dans l'air, des conséquences pour la santé humaine et des impacts environnementaux. Basé sur le logiciel développé par l'EPA (AERMOD).	Outil de modélisation des conséquences et des risques intégrant des calculs thermodynamiques dans la simulation des rejets de fluides variables dans le temps	Modélisation du transfert des rejets de produits chimiques toxiques dans l'atmosphère
<i>Utilisation</i>	Analyse des conséquences des rejets de produits inflammables et toxiques	Analyse des conséquences des rejets de produits inflammables et toxiques	Modélisation des conséquences de divers scénarios	Analyse des conséquences des rejets de produits inflammables et des pertes de confinement.	Dispersion des rejets toxiques (rejet continu, instantané, à durée déterminée ou variable dans le temps)
<i>Termes sources^f</i>	Oui	Saisie manuelle	Oui	Oui	Saisie manuelle
<i>Effets physiques^g</i>	Tous	Dispersion	Tous	Tous	Dispersion

^a Accident Damage Analysis Module (ADAM), disponible à l'adresse suivante :

<https://adam.jrc.ec.europa.eu/en/adam/content>.

^b Areal Locations of Hazardous Atmospheres (ALOHA), disponible à l'adresse suivante :

<https://epa.gov/cameo/aloha-software>.

^c Disponible à l'adresse suivante : www.trinityconsultants.com/software.

^d Disponible à l'adresse suivante : www.questconsult.com/software/canary/.

^e Dense Gas Dispersion Model (DEGADIS), disponible à l'adresse suivante :

https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=&direntryid=2904.

^f Quantité de produit chimique libérée en cas de perte de confinement, y compris les paramètres chimiques entrant en jeu.

^g Dispersion de gaz toxiques, rayonnement thermique résultant d'un incendie, surpression résultant d'une explosion, etc.

Nom	ADAM ^a	ALOHA ^b	BREEZE ^c	CANARY ^d	DEGADIS ^e
<i>Vulnérabilités^h</i>	Oui	Oui	Oui	Oui	Intensité d'exposition
<i>Avantages</i>	Outil simple à utiliser, destiné aux autorités compétentes de l'Union européenne et conçu pour permettre l'inclusion des règlements et directives de l'Union européenne dans la modélisation des conséquences	Fourniture de résultats corrects assez rapidement pour que les secouristes puissent les utiliser. Intégration des conditions en temps réel aux États-Unis. Facilité d'utilisation sur le terrain	Possibilité de modéliser des rejets variables dans le temps ; modules pour le GNL/GPL ; outils améliorés de visualisation et de traitement des données exportées.	Base de données de produits chimiques. Possibilité de comparer les modèles de risques – dispersion des vapeurs, rayonnement d'un incendie ou explosion de nuage de vapeur - en fonction de la concentration de gaz, du flux énergétique ou de la surpression.	Modélisation de diverses conditions de rejets de gaz denses
<i>Limites</i>	L'utilisation du logiciel ne peut pas être étendue aux organisations non gouvernementales.	Simplification de certains modèles pour faciliter l'utilisation et augmenter la rapidité d'obtention des résultats	ExDAM n'est pas adapté aux profils de pression variables dans le temps ou aux impulsions, et ne convient pas pour les espaces encombrés	Aucune limitation connue.	Simulation d'un seul ensemble de conditions météorologiques. Limité aux gaz denses
<i>Disponibilité</i>	Gratuit ⁱ	Gratuit	Sous licence ^j	Sous licence	Gratuit

^h Préjudices découlant des effets physiques, tenant compte de la probabilité, de la durée et de l'intensité de l'exposition.

ⁱ Réservé aux autorités compétentes de l'Union européenne, aux pays voisins de l'Union européenne et aux pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques assumant des responsabilités en matière de gestion des risques chimiques. Les organisations non gouvernementales (industrie, consultants externes, etc.) n'y ont pas accès.

^j AERMOD disponible gratuitement auprès de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis à l'adresse suivante : www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod.

<i>Nom</i>	<i>exploCFD^k</i>	<i>FLACS-CFD^l</i>	<i>FLACS-EFFECTS^m</i>	<i>Fluidynⁿ</i>	<i>FRED^o</i>
<i>Concepteur</i>	Advanced Analysis Australia	GexCon	TNO (Propriétaire : GexCon)	Fluidyn	Shell (Propriétaire : GexCon)
<i>Description</i>	Exclusivement conçu pour les effets des explosions. Des modèles détaillés sont disponibles pour les BLEVE, les explosifs puissants et les nuages de poussières	Modélisation CFD tridimensionnelle des rejets de produits inflammables et toxiques. Prise en compte des facteurs aggravants et atténuants, y compris le confinement et les engorgements dus à la géométrie réelle, la ventilation et le réseau d'extinction d'incendie	Modélisation du comportement des gaz toxiques ou inflammables, des gaz liquéfiés et des liquides de leur libération aux effets physiques qui en résultent	Plateforme de modélisation CFD avec des modules correspondant à des scénarios particuliers	Outil de modélisation des conséquences reposant sur un modèle thermodynamique avancé qui permet d'utiliser une représentation étendue de combustible multicomposant dans presque tous les modèles
<i>Utilisation</i>	Modélisation des explosions	Analyse des conséquences avec visualisation tridimensionnelle détaillée	Analyse des conséquences des rejets de produits inflammables et toxiques	Modélisation CFD des rejets de produits inflammables et toxiques	Analyse des conséquences de rejets de produits inflammables
<i>Termes sources</i>	Oui	Oui (DIPPR)	Oui (DIPPR)	Saisie manuelle	Oui (modèle thermodynamique de combustible multicomposant)
<i>Effets physiques</i>	Explosion	Tous	Tous	Tous	Tous
<i>Vulnérabilités</i>	Impacts d'un incendie ou d'une explosion	Impacts tridimensionnels de la surpression résultant d'une explosion ou du rayonnement thermique résultant d'un incendie	Exposition résultant de la dispersion, conséquences pour les personnes, létalité	Intensité de l'exposition au feu, intensité d'exposition aux gaz toxiques, contours de pression (explosion)	Impacts d'un incendie, d'un rejet de produits toxiques ou d'une explosion

^k Disponible à l'adresse suivante : www.advanalysis.com/explocfd.

^l Disponible à l'adresse suivante : <https://gexcon.com/products-services/flacs-software/>.

^m Disponible à l'adresse suivante : <https://gexcon.com/products-services/effects-consequence-modelling-software/>.

ⁿ Disponible à l'adresse suivante : www.fluidyn.com/?page_id=96.

^o Fire, Release, Explosion and Dispersion (FRED), disponible à l'adresse suivante : <https://gexcon.com/products-services/shell-fred-software/>.

<i>Nom</i>	<i>exploCFD^k</i>	<i>FLACS-CFD^l</i>	<i>FLACS-EFFECTS^m</i>	<i>Fluidynⁿ</i>	<i>FRED^o</i>
<i>Avantages</i>	Facilité d'utilisation, aucune construction géométrique requise, modélisation des explosions de TNT, de nitrate d'ammonium, de poussières et de gaz	Les caractéristiques géométriques sont prises en compte pour les incendies, les explosions et les rejets toxiques	Prise en compte des dommages structurels	Le module PANFIRE examine les effets des systèmes de protection active et passive Le module VENTIL étudie les effets dans les espaces confinés Le module FLOWSOL évalue les impacts environnementaux des rejets liquides, notamment la pollution des eaux souterraines	Développement et validation reposant sur un vaste programme d'expériences à grande échelle, des investissements substantiels, des projets industriels conjoints et des publications scientifiques
<i>Limites</i>	Limité aux incendies et aux explosions, pas de modélisation de la dispersion de substances toxiques	Calculs coûteux	La validation des modèles et des résultats nécessite une expérience considérable	Aucune limitation connue	Pas de modélisation des rejets toxiques. Orienté industrie offshore
<i>Disponibilité</i>	Sous licence	Sous licence	Sous licence	Sous licence	Sous licence

<i>Nom</i>	<i>KFX^p</i>	<i>MET^q</i>	<i>Phast^r</i>	<i>SAFER One^s</i>	<i>SafeSite 3G^t</i>
<i>Concepteur</i>	DNV	ISi Technologie GmbH	DNV	SAFER SYSTEMS	BakerRisk
<i>Description</i>	Modélisation CFD de la dispersion, des incendies et des explosions dans les zones encombrées.	Évaluation des risques liés aux accidents chimiques et calcul des rejets de substances toxiques et de particules solides, du rayonnement thermique résultant d'un incendie et de la surpression résultant d'une explosion.	Étude de l'évolution d'un incident, depuis le rejet initial jusqu'à l'analyse de la dispersion en champ lointain, en passant par la modélisation de la propagation et de l'évaporation de la nappe, sans oublier la toxicité et l'inflammabilité.	Modélisation en temps réel des rejets chimiques ou des événements de combustion afin de faciliter les interventions d'urgence. Superposition du plan de l'installation sur des cartes avec les informations sur la circulation et les données	Simulation du rejet de produits chimiques, de la dispersion, de la propagation et de la volatilisation de la nappe, des feux torche (jets enflammés) et feux en nappe, de l'explosion d'un nuage de vapeur et des vulnérabilités en cas d'incendie, d'incidents impliquant des produits toxiques et d'explosions.

^p Kameleon FireEx (KFX), disponible à l'adresse suivante : www.dnv.com/services/fire-simulation-software-cfd-simulation-kameleon-fireex-kfx-110598.

^q Models for Effects with Toxic and flammable gases (MET), disponible à l'adresse suivante : www.isitech.com/met-fuer-windows.html.

^r Disponible à l'adresse suivante : <https://dnv.com/phast>.

^s Disponible à l'adresse suivante : <https://safersystem.com/products/safer-one/>.

^t Disponible à l'adresse suivante : www.bakerisk.com/products/software-tools/qratool/.

<i>Nom</i>	<i>KFX^p</i>	<i>MET^q</i>	<i>Phas^r</i>	<i>SAFER One^s</i>	<i>SafeSite 3G^t</i>
				météorologiques afin de fournir une image instantanée de la situation en temps réel.	
<i>Utilisation</i>	Analyse des conséquences des incendies et explosions dans des zones encombrées	Analyse des conséquences des rejets de produits inflammables et toxiques et de substances très actives	Analyse des conséquences des rejets de produits inflammables et toxiques	Intervention et communication d'urgence en temps réel à l'échelle de l'organisation	Analyse des conséquences de plusieurs types de scénarios
<i>Termes sources</i>	Oui	Saisie manuelle	Oui	Saisie manuelle	Saisie manuelle
<i>Effets physiques</i>	Incendie, dispersion	Tous	Tous	Dispersion	Tous
<i>Vulnérabilités</i>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<i>Avantages</i>	Prise en compte des zones encombrées, des conditions météorologiques et des systèmes de lutte contre l'incendie utilisant de l'eau. Large éventail de scénarios de fuites de liquide et de gaz et d'incendies. Optimisation de la protection passive contre l'incendie.	Examen de l'incompatibilité chimique. Résultats rapides	Applicable à la conception et à l'exploitation des installations. Largement utilisé et considéré comme une norme industrielle	Simulation en temps réel ; intégration avec les capteurs de gaz et les capteurs météorologiques ; basé sur le cloud	Modélisations des rejets, de la dispersion et de l'explosion validées par des données historiques et des essais menés par le concepteur. Peut être utilisé pour le transport routier.
<i>Limites</i>	Orienté industrie pétrolière		La modélisation avancée requiert des extensions. Certains modèles d'explosion sont simplifiés.	Modèles physiques inconnus, pas de modélisation proactive/statique des rejets	Orienté installations à terre. Interface utilisateur complexe
<i>Disponibilité</i>	Sous licence	Sous licence	Sous licence	Sous licence	Sous licence

Abréviations : BLEVE, vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition ; CFD, mécanique des fluides numérique ; DIPPR, Design Institute for Physical Properties ; TNT, trinitrotoluène.