

**Commission économique pour l'Europe****Conférence des Parties à la Convention sur les effets transfrontières des accidents industriels****Douzième réunion**Genève, 29 novembre-1<sup>er</sup> 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 : Aperçu des méthodes d'évaluation des risques****Rapport soumis 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 des Nations Unies pour l'Europe (CEE) : l'un présentant une introduction aux méthodes d'évaluation des risques pour la prévention des accidents industriels et les outils logiciels disponibles, et l'autre présentant des études de cas spécifiques sur les méthodes d'évaluation des risques appliquées dans certaines installations industrielles de la région de la CEE – et portant en outre sur les outils logiciels disponibles<sup>a</sup>.

Le présent rapport a été élaboré par un contractant, aidé régulièrement par le groupe restreint de l'évaluation des risques, avec l'appui du secrétariat et le soutien financier de la Suisse. Le Bureau de la Convention et le Groupe de travail de l'application ont également appuyé son élaboration et l'ont examiné. Il contient un aperçu du processus d'évaluation des risques, notamment des outils d'analyse et des critères d'évaluation. Il ne se limite pas à une énumération des méthodes et outils d'évaluation des risques et porte sur les avantages et les difficultés de leur application pratique. Il doit être lu en relation avec le second rapport, dans lequel figurent des études de cas concernant les méthodes d'évaluation des risques appliquées dans la région de la CEE et une liste de certains outils logiciels conçus pour faciliter l'évaluation des risques liés aux installations chimiques.

La Conférence des Parties est invitée à :

- a) Prendre note du présent rapport, qui donne un aperçu des méthodes d'évaluation des risques (ECE/CP.TEIA/2022/8) ;



- b) Prendre aussi note du second rapport, portant sur des études de cas et certains outils logiciels disponibles pour l'évaluation des risques des installations chimiques (ECE/CP.TEIA/2022/9) ;
- c) Prendre en compte les informations figurant 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 Commission économique des Nations Unies pour l'Europe au cours de l'exercice 2023-2024.

<sup>a</sup> ECE/CP.TEIA/42, par. 75.

## I. Introduction, contexte et portée

1. La Convention de 1992 de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE) sur les effets transfrontières des accidents industriels, entrée en application en 2000, vise à aider ses Parties à prévenir les accidents industriels, à s'y préparer et à intervenir le cas échéant, en particulier les accidents susceptibles d'avoir des effets transfrontières. La Convention encourage la coopération transfrontière en matière de prévention des accidents industriels, de préparation à de tels accidents et d'intervention en cas d'accident entre ses 41 Parties et au-delà, notamment dans les pays d'Europe de l'Est et du Sud-Est, du Caucase et d'Asie centrale bénéficiaires du programme d'assistance et de coopération de la Convention. Le plan de travail guide les Parties à la Convention, les non-Parties de la région de la CEE, le Bureau, le Groupe de travail de l'application, le Groupe mixte d'experts de l'eau et des accidents industriels (Groupe mixte d'experts) et le secrétariat dans leurs activités. Celles-ci sont principalement axées sur la région de la CEE, mais peuvent également concerner les États Membres des Nations Unies au-delà de la région, dans le cadre des stratégies de communication, de sensibilisation et de mobilisation.

2. L'évaluation des risques, qui est une composante à part entière de la prévention des accidents, est prévue dans les dispositions de la Convention (par exemple, à l'article 6 et à l'annexe V). Un séminaire de la CEE sur les méthodes d'évaluation des risques (le 4 décembre 2018 à Genève) a été organisé pour aider les pays de la CEE à appliquer les dispositions pertinentes de la Convention en facilitant l'échange d'informations et le partage d'expériences en matière d'application de la méthode d'évaluation des risques. Les principales conclusions du séminaire mettent notamment en évidence des difficultés en matière d'évaluation des risques transfrontières et la nécessité d'échanger davantage d'informations sur les méthodes d'évaluation des risques utilisées dans la région de la CEE, y compris les outils logiciels disponibles. Le présent rapport a été élaboré en conformité avec les recommandations prioritaires issues du séminaire.

3. Le présent rapport contient un aperçu général des méthodes d'évaluation des risques liés aux activités dangereuses. Il ne vise pas à être exhaustif mais plutôt à donner un aperçu des méthodes d'évaluation utilisées dans la région de la CEE.

4. Ce rapport doit être lu en relation avec le rapport intitulé « Évaluation des risques pour la prévention des accidents industriels : Études de cas et outils logiciels » (ci-après dénommé « seconde partie »). Dans la seconde partie sont présentées des études de cas d'application des méthodes d'évaluation des risques à des installations chimiques dans la région de la CEE, y compris leur application dans un contexte transfrontière. L'annexe de la seconde partie contient une liste des outils logiciels disponibles pour l'évaluation des risques des installations chimiques.

## II. Glossaire de la terminologie applicable

5. Dans cette section sont définis les termes clefs couramment utilisés dans le domaine de la gestion des risques, classés en fonction des différentes composantes de gestion (voir fig.1).

6. La terminologie générale est la suivante :

a) « Danger » – Propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine ou l'environnement<sup>1</sup>. Les substances dangereuses sont visées à l'annexe I de la Convention ;

b) « Activité dangereuse » – Toute activité dans laquelle une ou plusieurs substances dangereuses sont ou peuvent être présentes dans des quantités égales ou supérieures aux quantités limites énumérées à l'Annexe II, de la Convention, et qui est susceptible d'avoir des effets transfrontières ;

c) « Risque » – Probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées<sup>2</sup> ;

d) « Risque individuel » – Risque auquel est exposée une personne à proximité d'un danger, y compris la nature de la blessure susceptible d'être subie par la personne, la probabilité que la blessure se produise et le moment où la blessure pourrait se produire<sup>3</sup> ;

e) « Risque sociétal » – Mesure du risque pour un groupe de personnes, souvent exprimée comme la distribution de fréquence d'événements à risques multiples<sup>4</sup> ;

f) « Évaluation des risques » – Processus global d'identification, d'analyse et d'évaluation des risques<sup>5</sup> ;

g) « Gestion des risques » – activités coordonnées visant à diriger et à piloter une entreprise vis-à-vis des risques<sup>6</sup> ;

h) « Partie prenante » – Personne ou organisation pouvant influencer sur une décision ou une activité, être touchée par l'une ou l'autre ou se percevoir comme telle<sup>7</sup> ;

i) « Effets transfrontières » – Effets graves s'étendant au-delà des frontières et concernant généralement la santé humaine et l'environnement.

7. La terminologie relative à l'identification des risques et des dangers est comme suit :

a) « Analyse des dangers » – Identification des dangers individuels d'un système, détermination des mécanismes par lesquels ils pourraient se traduire par des événements indésirables, et évaluation des conséquences de tels événements sur la santé (y compris la santé publique), l'environnement et les biens<sup>8</sup> ;

b) « Identification des dangers » – Identification des risques d'effets/événements néfastes pour l'homme ou l'environnement, et description qualitative de la nature de ces effets/événements<sup>9</sup> ;

c) « Étude de risque et d'exploitabilité (HazOp) » – Voir la sous-section B.3.2 ;

<sup>1</sup> Directive Seveso III de l'Union européenne (art. 3, par. 14), consultable à l'adresse suivante : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0018>.

<sup>2</sup> Centre for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria* (New York, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 2009).

<sup>3</sup> Ibid.

<sup>4</sup> Ibid.

<sup>5</sup> Organisation internationale de normalisation (ISO), *Guide ISO 73:2009 Management du risque* (2009).

<sup>6</sup> Ibid.

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures : Third Edition* (New York, AIChE, 2008).

<sup>9</sup> Commission européenne. "First Report on the Harmonization of Risk Assessment Procedures. Part 2: Appendices", Direction générale de la santé et des consommateurs. 26 et 27 octobre 2000.

d) « Cause/événement déclencheur » – Erreur opérationnelle, défaillance mécanique ou événement externe constituant le premier événement d'une série d'incidents et marquant le passage d'une situation normale à une situation anormale<sup>10</sup> ;

e) « Événement de perte » – Moment dans une situation anormale où se produit un événement physique irréversible susceptible d'entraîner des pertes et des dommages<sup>11</sup> ;

f) « Défaillance du confinement » – Événement au cours duquel des substances dangereuses sont libérées, notamment en raison d'une fuite ou d'une rupture de systèmes de tuyauterie ou de réservoirs atmosphériques ou pressurisés. Peut être soudaine ou prolongée ;

g) « Identification des risques » – Processus de recherche, de recensement et de description des risques<sup>12</sup> ;

h) Méthode « What if » – Voir la sous-section B.3.1.

8. La terminologie relative à l'identification des risques et des dangers est présentée ci-dessous :

a) « Analyse des risques » – Processus visant à comprendre la nature des risques et à en déterminer le niveau<sup>13</sup> ;

b) « Catégories d'analyse des risques », comme suit :

i) « Analyse qualitative des risques » – Repose principalement sur la description et la comparaison de l'expérience historique et des règles de bonne pratique technique, et comporte peu de données quantitatives sur les dangers, les conséquences, les probabilités d'occurrence ou le niveau de risque<sup>14</sup> ;

ii) « Analyse semi-quantitative des risques » – Comprend certains éléments relatifs à la quantification des conséquences, à la probabilité et/ou au niveau de risque<sup>15</sup> ;

iii) « Analyse quantitative des risques » – Estimation numérique systématique de la fréquence et de la gravité possibles des incidents pouvant survenir dans une installation ou au cours d'un procédé, établie à partir d'une évaluation technique et de méthodes mathématiques<sup>16</sup> ;

c) « Modèles de mécanique des fluides numériques » – Type de modèles capables de simuler des distributions tridimensionnelles à très haute résolution, en fonction de laps de temps, de flux d'air et de liquides et de concentrations de matières. Ces modèles servent généralement à déterminer les équations de base du mouvement et de la conservation à l'aide de grilles et d'étapes temporelles très réduites, et sont très exigeants sur le plan informatique<sup>17</sup> ;

d) « Évaluation/analyse des conséquences » – Processus de détermination et de quantification des effets néfastes causés par des expositions à un facteur de risque, indépendamment de la fréquence ou de la probabilité ;

e) « Effets dominos » – Déclenchement d'événements secondaires, tels que des rejets toxiques, à la suite d'un événement initial, tel qu'une explosion, entraînant une aggravation des conséquences ou une augmentation de l'étendue de la zone touchée. Généralement pris en compte uniquement en cas de forte aggravation liée à l'incident initial<sup>18</sup> ;

<sup>10</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*.

<sup>11</sup> Ibid.

<sup>12</sup> ISO, Guide ISO 73:2009.

<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> CPPS, "CCPS Process Safety Glossary", consultable à l'adresse [www.aiche.org/ccps/resources/glossary?page=1](http://www.aiche.org/ccps/resources/glossary?page=1).

<sup>15</sup> Ibid.

<sup>16</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*.

<sup>17</sup> CPPS, "CCPS Process Safety Glossary".

<sup>18</sup> Ibid.

f) « Arbre d'événements » – Modèle logique qui représente graphiquement les combinaisons d'événements et de circonstances dans une série d'incidents<sup>19</sup> ;

g) « Analyse des modes de défaillance, de leurs effets (et de leur criticité) » (Failure modes, effects (and criticality) analysis (AMDE/AMDEC)) – Voir la sous-section 2.3.3 ;

h) « Arbre de défaillance » – Modèle logique représentant graphiquement les combinaisons de défaillances pouvant conduire à une défaillance principale particulière ou à un incident notable (événement principal)<sup>20</sup> ;

i) « Fréquence » – Nombre d'événements ou de conséquences par unité de temps définie<sup>21</sup> ;

j) « Analyse de fréquence » – Processus de détermination de la fréquence d'un événement indésirable. ;

k) « Méthode d'analyse des couches de protection (Layers of Protection Analysis (LOPA)) » – Voir la sous-section B3.5 ;

l) « Probabilité » – Mesure de la probabilité que la situation se produise, exprimée par un nombre compris entre 0 et 1, où 0 signifie impossibilité et 1 signifie certitude absolue<sup>22</sup> ;

m) « Modèle de rejet » – Modèle de représentation du transport de masse et/ou d'énergie associé à un rejet hors enceinte de confinement d'une matière et/ou d'une énergie et de l'environnement dans lequel ce rejet a lieu ;

n) « Systèmes de sécurité » – Équipements et/ou procédures destinés à limiter ou à faire cesser une série d'incidents, limitant ainsi la gravité de l'accident et ses conséquences<sup>23</sup> ;

o) « Scénario » – Description détaillée d'un événement non prévu ou d'une série d'incidents entraînant une perte et de ses conséquences, y compris la bonne marche ou la défaillance des dispositifs de protection appliqués à la séquence d'incidents<sup>24</sup>.

9. La terminologie relative à l'évaluation des risques est la suivante :

a) « Évaluation des risques » – Processus consistant à comparer les résultats de l'analyse des risques avec les critères de risque afin de déterminer si les risques et leur importance sont acceptables ou tolérables<sup>25</sup> ;

b) « Critères de risque » – Critères de base de l'évaluation de l'importance d'un risque<sup>26</sup>. Les critères de risque sont fondés sur les objectifs opérationnels et le contexte externe et interne. Ils peuvent émaner de normes, de lois, de politiques et d'autres exigences :

i) « Critères de risque sociétal » – Critères de risque appliqués à un groupe de personnes et aux personnes pouvant ne pas se trouver à proximité directe d'un danger ;

ii) « Critères de risque individuels » – Critères de risque appliqués aux personnes se trouvant à proximité d'un danger ;

iii) « Critères coûts-avantages » – Critères de risque élaborés en vue de définir un niveau à partir duquel le coût de la mise en œuvre de mesures supplémentaires de réduction des risques dépasse largement les avantages qui en sont tirés.

<sup>19</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*.

<sup>20</sup> Ibid.

<sup>21</sup> ISO, Guide ISO 73:2009.

<sup>22</sup> Ibid.

<sup>23</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*.

<sup>24</sup> CCPS, *Guidelines for Investigating Process Safety Incidents : Third Edition*, (New York, AIChE, 2019).

<sup>25</sup> ISO, Guide ISO 73:2009.

<sup>26</sup> Ibid.

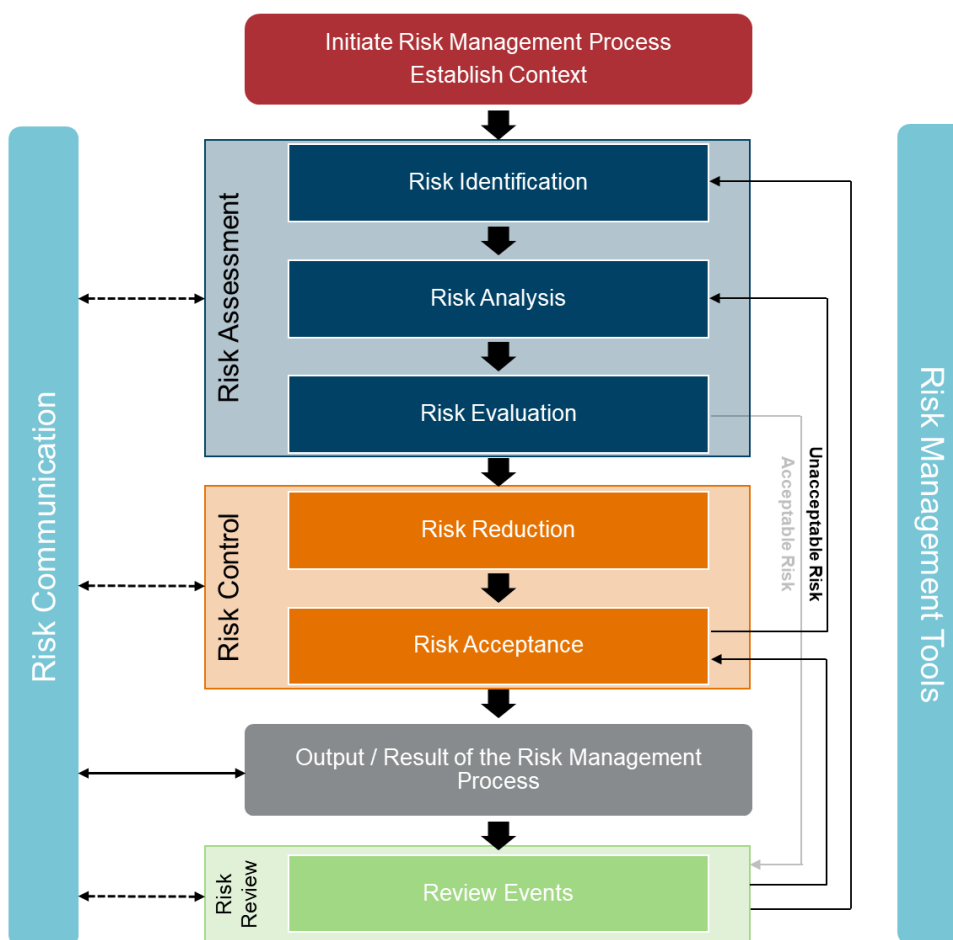
### III. Aperçu du processus de gestion des risques

10. Les installations industrielles peuvent comporter des risques pour leur personnel, les biens, la population et l'environnement. Ces risques sont souvent liés à la nature des opérations menées, aux dangers associés aux matières stockées, aux caractéristiques des procédés, voire à l'inadéquation des systèmes de gestion. Pour y faire face, on applique généralement une méthode systématique visant à permettre aux parties prenantes d'identifier, d'évaluer et de maîtriser les risques. Dans la section 3 ci-dessous sont passés en revue certains principes de la gestion des risques, notamment en ce qui concerne la composante d'évaluation des risques.

11. Le processus plus large de gestion des risques constitue un cadre et une méthode structurée grâce auxquels les opérateurs comprennent les risques liés aux activités industrielles dangereuses et sont à même de garantir des niveaux de risque acceptables grâce à des mesures de prévention et/ou d'atténuation adéquates. Dans un premier temps, la portée du processus de gestion des risques doit être définie, y compris le but et les objectifs de l'étude. Les conditions de base, les limites, les intrants et les extrants du processus de gestion des risques doivent être clairement décrits, y compris les éléments suivants : conception des installations ou des procédés, risques naturels, actes intentionnels, erreurs humaines, défaillances mécaniques, risques hors site, incidences environnementales, effets domino et efficacité des interventions d'urgence. La gestion des risques comporte trois composantes séquentielles assorties de boucles de rétroaction et d'une communication continue avec les parties prenantes (voir la figure 1) :

- a) L'évaluation des risques comprend trois étapes :
  - i) L'identification des risques, qui vise à identifier les dangers et à décrire les risques y afférents ;
  - ii) L'analyse des risques, qui vise à évaluer le niveau de gravité des événements susceptibles de se produire et la probabilité qu'ils se produisent ;
  - iii) L'évaluation des risques, qui vise à déterminer si les risques sont acceptables pour les parties prenantes en fonction d'un niveau prédéterminé de tolérance au risque ;
- b) Le contrôle des risques désigne les mesures de prévention et d'atténuation des risques prises à différents niveaux (par exemple, les contrôles techniques d'un procédé ou la mise en œuvre d'un programme de gestion de la sécurité des procédés) afin de limiter la probabilité de défaillances et/ou la gravité de leurs conséquences. Les mesures de réduction des risques sont ensuite utilisées pour l'étape d'évaluation des risques au cours de laquelle les scénarios sont réexaminés. Le processus se poursuit une fois les risques jugés acceptables.
- c) « L'examen des risques » est un moyen d'amélioration continue, grâce à la surveillance et à l'audit des risques. Les enquêtes après incident et les enseignements tirés, les indicateurs avancés et retardés, l'amélioration des programmes de formation du personnel et les audits de programme peuvent contribuer à déterminer les évolutions nécessaires en matière de réduction des risques ou d'acceptation des risques.

Figure 1  
Aperçu du processus de gestion des risques



Source : Auteur du présent rapport.

*Remarque* : la définition des termes utilisés dans la figure 1 diffère selon les organisations ; de ce fait, il peut y avoir des écarts entre les connaissances du lecteur et l'usage qui est fait des termes dans le présent rapport<sup>27</sup> (voir la figure 1 et la section B pour plus de précisions).

12. Le présent document porte essentiellement sur la phase d'évaluation des risques et ses trois étapes d'identification, d'analyse et d'évaluation. Il ne couvre pas les autres étapes/éléments présentés à la figure 1.

13. En outre, le processus d'évaluation des risques s'appuie sur des normes de conception de base qui varient selon les pays. Ces normes élémentaires de sécurité doivent être respectées jusqu'à la mise en œuvre d'une méthode d'évaluation des risques ; néanmoins, le niveau de sécurité obtenu en se conformant aux règles et aux normes variera également d'un pays à l'autre. Il est donc essentiel de bien comprendre le contexte de l'évaluation des risques pour pouvoir établir des comparaisons entre les différentes parties prenantes dans un contexte transfrontière. Plusieurs parties prenantes peuvent avoir des avis très divergents quant au « risque acceptable ». Les critères d'évaluation harmonisés doivent correspondre à un objectif à long terme de la coopération transfrontière, être cohérents du point de vue des différentes parties prenantes et être applicables à toutes les installations chimiques.

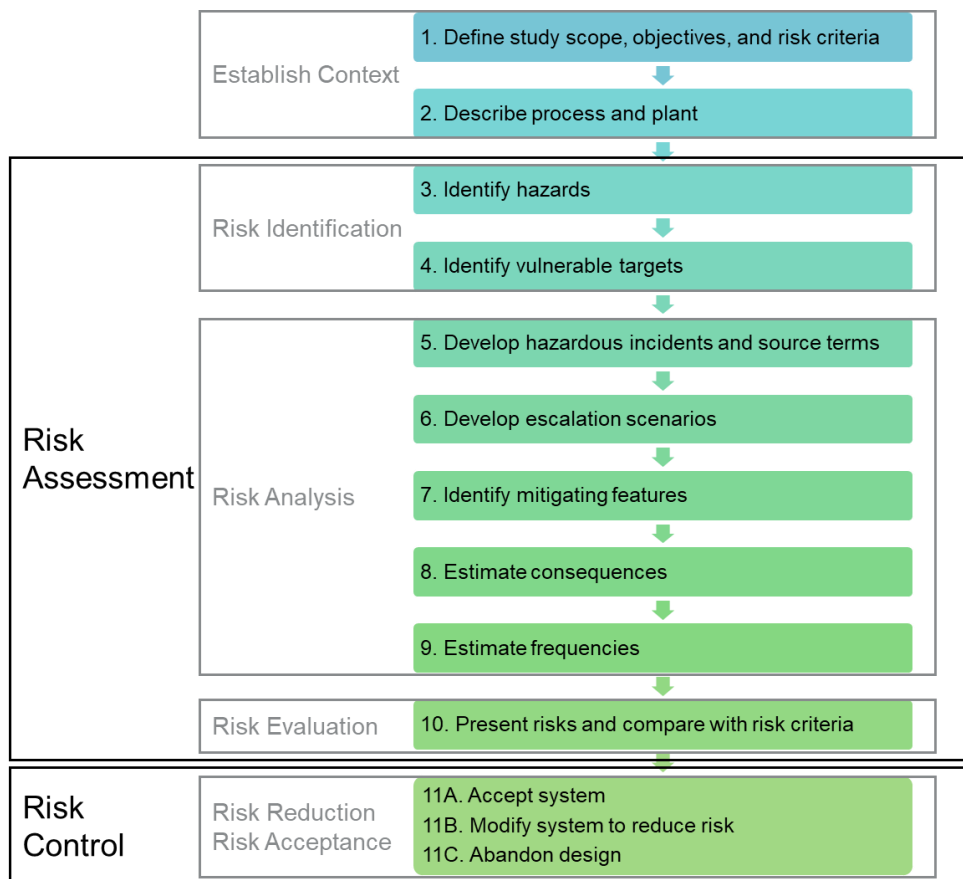
<sup>27</sup> Ibid. Commission européenne, « Premier rapport » ; et Frans Møller Christensen et autres, « Risk terminology - a platform for common understanding and better communication », *Journal of Hazardous Materials*, vol. 103, n° 3 (2003), p. 181 à 203.

## IV. Introduction générale à la méthode d'évaluation des risques

14. Le présent rapport se concentre sur la première composante de la gestion des risques : l'évaluation des risques. Au sens large, l'évaluation des risques concerne la gestion des processus dangereux ; le présent document se limite à la gestion des conséquences graves de rejets accidentels de substances dangereuses (définies dans l'annexe I de la Convention), de manière générale et notamment dans un contexte transfrontière. La finalité de l'évaluation des risques est d'évaluer les dangers et de parvenir à les éliminer ou à les limiter grâce à des mesures de contrôle préventives et/ou d'atténuation. La prévention des dangers, par exemple l'élimination des substances ou des procédés dangereux ou leur substitution, est généralement privilégiée ; en cas d'élimination d'une substance dangereuse, il n'est pas nécessaire de faire figurer la perte de confinement de cette substance dans l'évaluation des risques. Si elles sont efficaces, les mesures d'élimination ou de substitution sont généralement difficiles à mettre en œuvre dans le cas de processus ou d'installations existants<sup>28</sup>.

15. Dans la figure 2 est décrit en détail le processus d'évaluation des risques, y compris les étapes préliminaires et ultérieures (respectivement intitulées « Établissement du contexte » et « Contrôle des risques » dans la figure 1).

Figure 2  
Processus d'évaluation des risques



Source : Adapté de Sam Mannan, ed., *Lees' Loss Prevention in the Process Industries : Hazard Identification, Assessment, and Control* - quatrième édition (n.p., Elsevier Incorporated, 2012).

<sup>28</sup> Sources multiples, dont le National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis, /www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html.



16. Les évaluations des risques doivent commencer par les étapes suivantes afin d'établir le contexte : définition de l'objet et de la portée de l'évaluation, collaboration avec les parties prenantes, définition des objectifs, prise en compte des facteurs humains, organisationnels et sociaux, et examen des critères de risque en vue de la prise de décisions<sup>29</sup>.

17. Trois composantes sont examinées en détail dans cette section : l'identification des risques, l'analyse des risques et l'évaluation des risques. Cette structuration reprend celle de la norme 31010 de la Commission électrotechnique internationale<sup>30</sup>. Dans la présente section sont détaillées les méthodes existantes d'analyse et d'évaluation telles que décrites dans les annexes IV à VI de la Convention, ainsi que les mesures prises pour renforcer la gouvernance des risques, qui est l'un des objectifs de la stratégie à long terme de la Convention jusqu'en 2030 (ECE/CP.TEIA/38/Add.1).

## A. Identification des risques

18. Une fois que les parties prenantes ont lancé le processus de gestion des risques et établi le contexte, la première étape de l'évaluation des risques consiste à identifier de manière claire et exhaustive les dangers et les récepteurs de dommages potentiels se trouvant dans l'installation en question ou la concernant. Il est important que les parties prenantes identifient les risques, indépendamment du fait qu'ils contrôlent ou non la source de ces risques<sup>31</sup>. Dans la figure 2, l'étape d'identification des risques (points 3 et 4) constitue la base de l'évaluation des risques.

### 1. Compréhension des dangers chimiques et physiques

19. L'identification des dangers correspond au point 3 de la figure 2. La première étape de l'identification des dangers consiste à déterminer et à documenter les caractéristiques des substances dangereuses utilisées dans une installation, par exemple les matières premières, les produits intermédiaires et les produits finis, ainsi que leur volume. Les caractéristiques à prendre en compte incluent la nature du danger (santé, environnement physique) et d'autres informations pertinentes (par exemple, la densité de la vapeur, le point d'ébullition, l'inflammabilité, la corrosivité, la toxicité et la réactivité). Les fiches de données de sécurité contiennent généralement ces informations, mais ne sont pas toujours assez détaillées, notamment pour ce qui est de l'évaluation des problèmes de réactivité chimique (les fiches peuvent ne pas indiquer les combinaisons particulières de substances chimiques). Les autres ressources utiles comprennent les bases de données gouvernementales ou publiques, la littérature existante en la matière ou les logiciels ou bases de données disponibles dans le commerce ; la base de données du Design Institute for Physical Properties est par exemple un outil de référence complet et largement utilisé<sup>32</sup>. Les matrices d'interaction et les listes de contrôle sont des exemples d'outils courants d'identification des dangers.

#### 1.1 Matrice d'interaction

20. La matrice d'interaction est un outil simple permettant d'identifier les risques liés aux procédés grâce à l'analyse des incompatibilités dans l'installation. Des éléments précis tels que les substances dangereuses, les conditions du procédé et les facteurs environnementaux sont indiqués sur deux axes<sup>33</sup>. La matrice est ensuite complétée en définissant les conséquences des combinaisons d'éléments (par exemple, mélange d'un produit chimique A avec un produit chimique B ou exposition d'un produit chimique A à une température élevée).

<sup>29</sup> Commission électrotechnique internationale (CEI)/ISO, IEC 31010:2019 Management du risque – Techniques d'appréciation du risque (2019).

<sup>30</sup> Ibid.

<sup>31</sup> ISO, ISO 31000:2018 Management du risque – Lignes directrices (2018).

<sup>32</sup> Gouvernement des Flandres (Belgique), *Risk Calculations Manual: Guidelines for quantitative risk analysis, indirect risks and environmental risk analysis* – Version 2.0, 1<sup>er</sup> avril 2019 (Bruxelles).

<sup>33</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*.

Tableau 1  
Exemple de matrice d'incompatibilité chimique

	Acids (Inorganic)	Acids (Organic)	Acids (Oxidizing)	Alkali (Bases)	Oxidizers	Toxic (Inorganic)	Toxic (Organic)	Water Reactive	Organic Solvent
Acids (Inorganic)		X		X		X	X	X	X
Acids (Organic)	X		X	X	X	X	X	X	
Acids (Oxidizing)		X		X		X	X	X	X
Alkali (Bases)	X	X	X				X	X	X
Oxidizers		X					X	X	X
Toxic (Inorganic)	X	X	X				X	X	X
Toxic (Organic)	X	X	X	X	X	X			
Water Reactive	X	X	X	X	X	X			
Organic Solvent	X		X	X	X	X			

Source : Auteur du présent rapport.

Note : Dans le tableau 1 figure une énumération des incompatibilités entre les classes chimiques ; appliquée à une installation ou à un processus, la matrice pourrait être plus précise en indiquant les réactions attendues et les conséquences en cas d'incompatibilité (par exemple, une réaction exothermique entraînant la libération de gaz inflammables). Cette mesure qualitative simple est par nature limitée mais peut servir d'outil d'identification précoce des risques.

## 1.2 Liste de contrôle

21. La liste de contrôle est une autre méthode de base d'identification des dangers. Elle consiste en une série de points à vérifier concernant les dangers liés à l'installation ou au processus que l'équipe de travail doit examiner. Pour être complète et efficace, la liste porte sur des points généralement propres à une installation ou à un processus et constitue une base cohérente et complète aux fins de l'identification des dangers. Voici quelques exemples de points à vérifier dans le cadre d'une liste de contrôle : a) La matière est inflammable et le point d'éclair est inférieur à la température de fonctionnement du processus ; b) Il y a un risque d'inhalation toxique pour les occupants au-delà des limites du site en cas de rejet dans l'atmosphère ; c) Il y a un risque de réactivité lié à l'introduction des composants dans le réacteur discontinu. Les listes de contrôle peuvent être des outils efficaces d'identification des dangers, cependant elles ne permettent pas toujours de prévoir l'ensemble des situations à risque et des perturbations susceptibles de constituer un danger. Les points de contrôle utilisés dans le cadre de cette méthode doivent pouvoir être adaptés à chaque situation et tenir compte des observations et des modifications nécessaires apportées par l'équipe d'examen afin de s'assurer que les particularités de chaque installation ont été dûment prises en compte.

## 2. Identifier les éléments vulnérables

22. Les éléments vulnérables visés dans les évaluations des risques des installations chimiques incluent généralement les employés, le public hors site et les récepteurs environnementaux (y compris les effets transfrontières potentiels).

## 3. Résultats de l'étape d'identification des risques

23. Les résultats de l'étape d'identification des risques sont exploités pour l'étape suivante, l'analyse des risques. L'identification des risques met généralement en évidence les dangers chimiques et les dangers liés aux processus. Il est nécessaire d'obtenir les informations énumérées ci-dessous avant de passer à l'étape suivante, l'analyse des risques :

- a) Liste des quantités et des classes de danger des substances dangereuses ;
- b) Risques liés aux réactions chimiques en cas de mélange chimique ;

- c) Risques naturels concernant le lieu ;
- d) Risques physiques associés à un processus ou à une installation, comme une pression ou une température élevée ;
- e) Connaissance générale des scénarios de perte de confinement ;
- f) Liste ou carte des points de vulnérabilité.

## B. Analyse des risques

24. Après avoir identifié les risques liés à un système ou à une installation, l'étape suivante consiste à définir les risques liés aux dangers connexes au moyen d'une analyse des risques. L'objectif est de déterminer la fréquence ou la probabilité d'un événement (tel qu'un incendie ou une explosion) et l'importance des conséquences ou de la gravité de cet événement. Tout au long de l'étape d'analyse des risques, il faut tenir compte à la fois des mesures de prévention et d'atténuation. Dans cette section sont passés en revue divers outils et méthodes d'analyse des risques, qui varient quant à leur niveau de précision, leur objectif et les données requises<sup>34</sup>.

### 1. Processus d'analyse des risques

25. Une analyse des risques s'appuie généralement sur des scénarios élaborés lors de l'étape d'identification des risques. Ces scénarios portent sur des événements précis de perte de confinement et visent à identifier des enchaînements d'accidents depuis les causes principales (défaillance mécanique, défaillance humaine) jusqu'aux effets majeurs attendus (incendie, explosion, rejet de substances toxiques) et aux effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

26. Pour faciliter l'élaboration des scénarios, le Centre commun de recherche de la Commission européenne a conçu, en collaboration avec les acteurs du secteur, un manuel contenant des scénarios types recommandés pour un grand nombre de substances courantes (liquides inflammables, gaz naturel liquéfié, ammoniac anhydre, etc.)<sup>35</sup>.

27. Le nombre de scénarios et leur niveau de détail varient en fonction de la méthode d'analyse des risques utilisée. Dans le cas de méthodes d'analyse des risques qualitatives et semi-quantitatives, les parties prenantes peuvent prévoir de nombreux scénarios susceptibles de provoquer des événements indésirables. Les méthodes quantitatives d'analyse des risques, quant à elles, ne peuvent tenir compte que d'un nombre limité de scénarios, lesquels doivent être suffisamment précis pour permettre une analyse plus approfondie (par exemple en tenant compte des pires scénarios possibles). Pour chaque scénario identifié, une analyse par calcul numérique doit être effectuée. Dans le cas où les résultats sont exprimés dans un ensemble commun d'unités (par exemple, perte potentielle de vie par an, blessures par an, quantité d'eau de surface ou d'eau souterraine polluée par an), il est possible de les additionner pour obtenir des valeurs globales relatives à une population de récepteurs dans plusieurs scénarios distincts.

28. Dans le cas d'analyses quantitatives des risques, le choix du scénario doit faire l'objet d'une réflexion plus poussée. Il faut définir un terme source afin d'élaborer le scénario de rejet en estimant les taux de rejet et la quantité totale rejetée<sup>36</sup>. L'élaboration du terme source doit impérativement tenir compte de la phase de rejet, du type de rejet (rupture de canalisation, déversement accidentel, etc.) et de la durée de la fuite. Les termes sources

<sup>34</sup> Karmen Poljansek et autres, *Recommendations for national risk assessment for disaster risk management in EU: approaches for identifying, analysing and evaluating risks – version 0* (Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne, 2019).

<sup>35</sup> Michael Struckl, *Handbook of Scenarios for Assessing Major Chemical Accident Risks* (Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne, 2017).

<sup>36</sup> CPPS, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis: Second Edition* (New York, AIChE, 1999); et X.Seguí et autres, « Methodology for the quantification of toxic dispersions originated in warehouse fires and Its application to the QRA in Catalonia (Spain) », *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 32 (novembre 2014), p. 404 à 414.

courants à prendre en compte et les méthodes de calcul sont exposés dans des publications en la matière (par exemple, le « Livre jaune »<sup>37</sup> du Comité pour la prévention des catastrophes ou les lignes directrices pour l'analyse quantitative des risques liés aux procédés chimiques (Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis))<sup>38</sup>.

## 2. Processus d'analyse des risques

29. De nombreuses méthodes d'analyse des risques sont utilisées aux différentes étapes du processus. Les outils d'identification des risques liés aux procédés, tels que les listes de contrôle What-if et la méthode HazOp, visent généralement à déterminer tous les scénarios potentiels sur un site particulier. Une deuxième série d'outils d'analyse des risques est utilisée pour examiner les mesures de contrôle et les probabilités d'occurrence, comme la méthode LOPA et l'analyse par arbre de défaillance. Ces méthodes sont appliquées à des scénarios sélectionnés afin de déterminer l'adéquation des mesures de contrôle et, dans le cas d'une analyse quantitative ou semi-quantitative, de déterminer la probabilité d'un accident.

30. Les méthodes d'analyse des risques peuvent être qualitatives, semi-quantitatives ou quantitatives, comme expliqué plus loin dans cette section. Les méthodes d'analyse des risques peuvent encore être subdivisées substantiellement en fonction du type de résultat.

a) Les méthodes déterministes s'appuient sur un scénario de danger précis en vue de déterminer les conséquences pour les personnes et l'environnement en fonction d'un ensemble de circonstances définies. Ces méthodes ne tiennent donc pas compte de la probabilité d'occurrence de tous les événements possibles, mais mettent plutôt l'accent sur un scénario particulier, tel que le pire scénario possible ou l'événement le plus susceptible de se produire<sup>39</sup> ;

b) Les méthodes probabilistes se fondent sur la probabilité qu'un scénario de défaillance particulier se réalise (généralement une défaillance technique) et sur les différentes conséquences possibles<sup>40</sup>. Ces méthodes permettent donc de déterminer les probabilités de réalisation de nombreux scénarios aux conséquences néfastes.

31. La variété des méthodes d'analyse des risques disponibles offre une certaine flexibilité aux utilisateurs, leur permettant de tenir compte de la complexité de l'installation et de la disponibilité des informations relatives à celle-ci et au procédé. La présente section présente les méthodes d'analyse des risques couramment utilisées dans le secteur de la transformation. Cette liste n'est pas exhaustive car il existe de nombreuses variations et approches hybrides<sup>41</sup>. Une analyse des risques typique peut combiner des méthodes qualitatives et quantitatives. Il est ainsi fréquent de commencer par une méthode qualitative pour identifier tous les scénarios possibles, puis d'utiliser des méthodes quantitatives pour examiner en détail des scénarios particuliers.

### 2.1 Méthodes qualitatives

32. Les méthodes d'analyse qualitative des risques sont généralement les moins complexes dans la mesure où elles ne requièrent pas de calculs, de modélisation informatique ou de bases de données concernant la fréquence des défaillances. Ces méthodes servent à acquérir des connaissances générales quant aux risques liés à un procédé ou à une installation particulière et à déterminer quels systèmes ou équipements pourraient nécessiter une analyse plus poussée au moyen d'une méthode plus détaillée. En raison de leur nature même, qui se fonde sur l'expertise des membres de l'équipe d'examen, les méthodes qualitatives peuvent être limitées pour ce qui est de décrire avec précision les risques.

<sup>37</sup> 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 » (The Hague, CPR, 1996).

<sup>38</sup> CPPS, *Guidelines for Chemical*.

<sup>39</sup> Poljansek, *Recommendations*.

<sup>40</sup> J. Tixier et autres, « Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants », *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 15, n° 4 (juillet 2002), p. 291 à 303.

<sup>41</sup> Mannan, *Lees' Loss*.

## 2.2 Méthodes semi-quantitatives

33. Les méthodes d'analyse des risques semi-quantitatives portent dans une certaine mesure sur la quantification des conséquences, la probabilité d'occurrence et/ou le niveau de risque ; elles sont généralement utilisées quand les parties prenantes demandent un niveau de détail plus poussé en matière de quantification dans le cadre de scénarios de défaillance et de leurs conséquences, mais n'ont pas nécessairement besoin d'une analyse des risques entièrement quantitative ou n'ont pas les moyens de l'effectuer ; de telles méthodes peuvent suffire dans le cas d'installations pour lesquelles les dangers ne posent pas de risque significatif sur le site et/ou hors du site ; elles présentent les mêmes limites que les méthodes qualitatives, notamment le fait de s'appuyer sur un jugement d'expert, mais permettent de quantifier le risque en termes relatifs, ce qui se traduit par une évaluation des risques plus poussée, qui est l'étape suivante du processus global d'évaluation des risques.

## 2.3 Méthodes quantitatives

34. Contrairement aux méthodes qualitatives, les méthodes d'analyse quantitative des risques incluent des estimations numériques de la gravité et de la probabilité ou de la fréquence d'un événement de perte de confinement. Ces méthodes nécessitent une élaboration et une exécution plus rigoureuses. Elles passent par un grand nombre d'étapes, notamment l'élaboration de scénarios et de termes sources, l'analyse des conséquences découlant des scénarios retenus, le calcul de la probabilité ou de la fréquence des défaillances se traduisant par les scénarios retenus, et l'examen des effets des mesures de protection mises en place pour prévenir ou atténuer les conséquences des scénarios analysés.

## 3. Outils d'analyse des risques

35. Dans la plupart des cas, il est nécessaire d'utiliser plusieurs outils d'analyse des risques pour couvrir toutes les étapes de l'analyse des risques indiquées dans la figure 2 (voir le tableau 5 pour un résumé). Plusieurs outils sont décrits en détail ci-dessous.

### 3.1 What-if (Que se passe-t-il si ?)/Liste de contrôle

36. La méthode « What if » permet de dresser une liste de questions préremplies, basées sur un scénario, en vue de l'identification initiale des dangers liés au procédé, afin de déterminer les dangers et les scénarios potentiels de perte de confinement. Une équipe d'examen passe en revue ces questions et apporte des réponses détaillées en vue de l'élaboration de recommandations visant à prévenir toute perte de confinement ou à en atténuer les effets (voir le tableau 2 pour un exemple de méthode « What if »). De par sa procédure, la méthode « What if » est plus à même de mettre en évidence les dangers propres au processus qu'une liste de contrôle basique. Elle comporte toutefois des limites liées à l'expérience des membres de l'équipe d'examen. Pour y remédier, on peut l'utiliser en combinaison avec une liste de contrôle de façon à réaliser une analyse plus approfondie et informée<sup>42</sup>.

<sup>42</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*.

Tableau 2

**Analyse « What if » ou analyse « What if »/liste de contrôle : résultats obtenus dans le cas d'une usine de polyuréthane haute pression et basse densité**

What-If?	Consequence/Hazard	Recommendations
Coolant pump to reactor fails	Runaway condition in reactor with potential to cause explosion/fatality	Provide accurate temperature monitoring in reactor Employ backup pump/high temperature alarm Relieve reactor pressure through automatic control to stop reactions Provide automatic shut-off of ethylene flow
Runaway condition in reactor	Explosion; fire/fatality	Provide adequate temperature control on coolant line Use heat exchanger flow control to adjust inlet temperature Install rupture disk/relief valve to relieve pressure to stop reactions Emergency shut-down procedure
Ethylene leaks out of process lines	Fire; explosion	Provide adequate flammable gas monitoring devices

Source : Adapté de Mannan, *Lees' Loss*.

### 3.2 Dangers et exploitabilité

37. Une analyse HazOp consiste à passer en revue de manière systématique les dangers liés à une installation. Elle est utilisée par l'industrie des procédés chimiques dans le monde entier. Pour la réaliser, l'installation est subdivisée en systèmes et sous-systèmes contrôlables, appelés nœuds. Les écarts éventuels par rapport au fonctionnement normal de ces sous-systèmes sont étudiés par une équipe pluridisciplinaire. Les schémas de tuyauterie et d'instrumentation du processus sont examinés méthodiquement afin de déterminer les causes d'anomalie et les conséquences négatives de tous les écarts susceptibles de survenir<sup>43</sup>. La méthode HazOp est présentée à la figure 3<sup>44</sup>.

38. Un ensemble de mots guides et de paramètres sont utilisés conjointement pour déterminer des écarts hypothétiques par rapport à un fonctionnement normal (par exemple, absence de débit dans un procédé ou température élevée dans un réacteur). Des exemples de ces écarts figurent au tableau 3.

<sup>43</sup> P. K. Marhvilas, D. Koulouriotis et V. Gemeni, « Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009 », *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 24, n° 5 (septembre, 2011), p. 77 à 523.

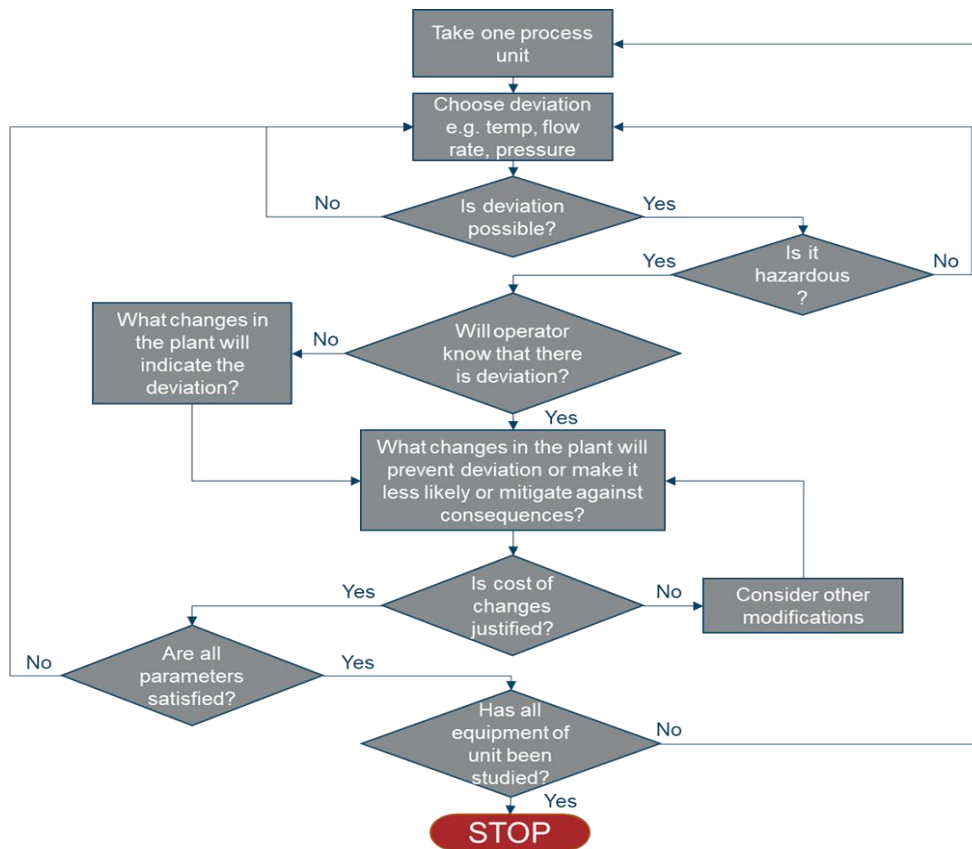
<sup>44</sup> Faisal I. Khan et S. A. Abbasi, « OptHAZOP - an effective and optimum approach for HAZOP study », *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 10, n° 3 (mai 1997), p. 191 à 204.

Tableau 3  
Mots-guides relatifs aux dangers et à l'exploitabilité aux fins de l'élaboration de scénarios

<i>Mot guide</i>	<i>Signification</i>	<i>Paramètre</i>	<i>Écart</i>
<b>non</b>	Négation de l'intention	Débit Niveau	Pas de débit Niveau zéro
<b>Moins de</b>	Diminution quantitative	Débit Niveau Température Pression Concentration	Faible débit Niveau bas Température basse Pression faible Concentration faible
<b>Plus de</b>	Augmentation quantitative	Débit Niveau Température Pression Concentration	Débit élevé Niveau élevé Température élevée Pression élevée Concentration élevée
<b>Inverse</b>	Opposition logique	Débit Pression	Débit inverse Pression inverse
<b>En partie</b>	Diminution qualitative	Concentration Débit Niveau	Diminution de la concentration Diminution du débit Diminution du niveau
<b>En plus de</b>	Augmentation qualitative	Concentration d'impureté Température de la substance Niveau d'impureté Pression de la substance Débit d'impureté	Augmentation de la concentration Augmentation de la température Augmentation du niveau Augmentation de la pression Augmentation du débit
<b>Autre que</b>	Substitution complète	Concentration de la substance souhaitée Niveau de la substance souhaitée Débit de la substance souhaitée	Concentration zéro Niveau zéro Débit zéro

*Source* : Faisal I. Khan et S. A. Abbasi, « Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries », *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 11, n° 4 (juillet 1998), p. 261 à 277.

Figure 3  
Processus relatif aux dangers et à l'exploitabilité



Source : Khan, "OptHAZOP".

39. L'équipe HazOp utilise ce cadre méthodique pour déterminer les mesures appropriées en vue de réduire les conséquences et/ou la fréquence d'un écart. La méthode HazOp permet en outre d'évaluer simultanément les causes et les conséquences d'un écart et s'applique à tout système ou procédé<sup>45</sup>. Les analyses HazOp sont généralement chronophages et leur réalisation doit être confiée à une équipe pluridisciplinaire.

### 3.3 Analyse des modes de défaillance et de leurs effets

40. L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) est une méthode inductive et ascendante consistant à recenser les modes de défaillance d'un équipement donné et les conséquences de la défaillance. Le mode de défaillance indique de quelle manière un élément d'un système tombe en panne (ouverture, fermeture, etc.) et les conséquences de la défaillance sont déterminées en fonction de la réponse du système<sup>46</sup>. Un exemple de feuille de travail AMDE est fourni dans le tableau 4.

<sup>45</sup> Mannan, *Lees' Loss*.

<sup>46</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*. et J. F. W. Peeters, R.J.I. Basten et T. Tinga, "Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner", *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 172 (avril 2017).



Tableau 4

**Analyse des modes de défaillance et de leurs effets : exemple de résultat d'analyse d'une installation de traitement**

Component	Failure or Error Mode	Effects on Other System Components	Effects on Whole System	Failure Frequency	Detection Methods	Compensating Provisions and Remarks
Pressure Relief Valve	Jammed open	Increased operation of temperature sensing controller, and gas flow, due to hot water loss	Loss of hot water; greater cold water input, and greater gas consumption	Reasonably probable	Observe at pressure relief valve	Shut off water supply; reseal or replace relief valve.
	Jammed closed	None	None	Probable	Manual testing	Unless combined with other component failure, this failure has no consequence.
Temperature measuring and comparing device	Fails to react to temperature rise above preset level	Controller gas valve, burner continue to function 'on.' Pressure relief valve opens	Water temperature too high	Remote	Observe at output (faucet)	Pressure relief valve compensates. Open hot water faucet to relieve pressure. Shut off gas supply.

Source : Mannan, Lees' Loss.

41. L'AMDE est un outil pouvant être très efficace grâce à son approche systématique et structurée. Cependant, les modes de défaillance des nouveaux systèmes pourraient ne pas être connus dans la pratique et la méthode pourrait échouer à mettre suffisamment en évidence les défaillances critiques. L'AMDE peut être étendue à l'AMDEC en y incluant une analyse de la criticité du mode de défaillance, afin de disposer d'une base davantage quantitative pour l'analyse des risques<sup>47</sup>.

### 3.4 Méthode HazOp assortie de niveaux de risque

42. La méthode HazOp peut être élargie pour inclure une composante d'analyse des risques ; grâce à une matrice des risques, l'équipe peut démontrer que les recommandations élaborées permettent de réduire adéquatement les risques identifiés. La feuille de travail HazOp peut être enrichie en incluant, pour chaque scénario, les risques de base, les risques compte tenu des mesures de protection existantes et les risques après mise en place de mesures de protection supplémentaires.

43. Une matrice des risques assortie de niveaux de gravité et de fréquence pourrait servir à informer l'équipe HazOp dans le cadre de son analyse des risques (voir sect. 3.2). Même si les niveaux de risque sont déterminés de manière consensuelle, ce sont souvent les participants à l'analyse qui déterminent la gravité et la probabilité des conséquences à partir de leurs connaissances et de leurs expériences ; une évaluation quantitative peut fournir des valeurs plus objectives et vérifiables.

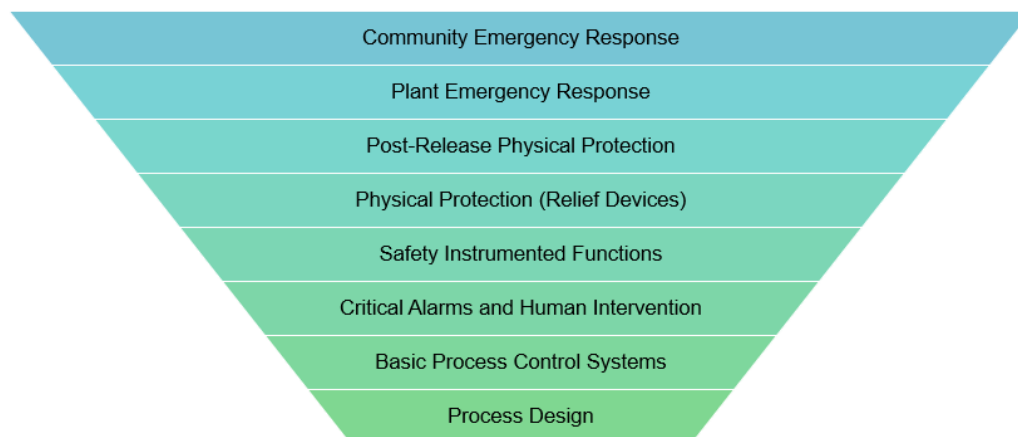
### 3.5 Analyse des couches de protection

44. L'analyse des couches de protection (Layers of Protection Analysis (LOPA)) est une forme simplifiée d'analyse quantitative des risques. Elle se fonde sur des catégories d'ordre de grandeur pour établir la fréquence des événements déclencheurs, la gravité des conséquences et la probabilité de défaillance des protections – elle est donc considérée comme un outil d'analyse de risque semi-quantitative<sup>48</sup>. Les mesures de protection analysées dans le cadre de la LOPA sont considérées comme des couches de protection indépendantes. La figure 4 décrit les couches de protection indépendantes pouvant être mises en place pour se protéger contre un danger.

<sup>47</sup> Mannan, Lees' Loss.

<sup>48</sup> CCPS, Guidelines for Hazard.

Figure 4

**Couches de protection indépendantes contre un éventuel accident**

Source: CCPS, *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment* (New York, AIChE, 2001).

45. La méthode LOPA (Layer Of Protection Analysis) est une méthode d'analyse des risques basée sur des scénarios qui comporte les étapes suivantes :

- a) Repérer une conséquence, élaborer les scénarios possibles et choisir un scénario d'incident ;
- b) Déterminer la cause (événement initiateur) du scénario choisi et estimer sa fréquence d'occurrence ;
- c) Recenser les couches de protection indépendantes et estimer leurs fréquences de défaillance ;
- d) Calculer la fréquence globale du scénario en combinant la probabilité de l'événement initiateur et la probabilité de défaillance des couches de protection indépendantes ;
- e) Déterminer le niveau de risque du scénario en précisant l'ampleur de la conséquence et procéder à l'évaluation du risque.

46. La méthode LOPA demande moins de temps et d'efforts qu'une méthode entièrement quantitative, permet de définir plus facilement et de manière plus précise des paires cause-conséquence et peut contribuer à résoudre les conflits dans la prise de décisions en fournissant un cadre cohérent pour l'analyse des risques<sup>49</sup>. La méthode LOPA en elle-même ne dresse pas systématiquement la liste des dangers et doit reposer sur un outil d'analyse des dangers tel qu'une étude des risques et de l'exploitabilité (HazOp) ou une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)<sup>50</sup>.

### 3.6 Analyse des conséquences (modèles de rejets et modèles d'effets)

47. Pour un terme source donné, on élabore des modèles de rejets afin de définir les caractéristiques du scénario en fonction du temps. Dans le cas des rejets liquides, les caractéristiques clefs sont les débits, les vitesses d'évaporation et la taille du bassin de rétention ; pour les rejets de gaz ou de vapeurs, il est nécessaire de connaître le volume total attendu et les vitesses de rejet. Ces caractéristiques permettent de calculer les conséquences d'un événement (par exemple, la taille du nuage de vapeur est nécessaire pour estimer la taille de la boule de feu et l'amplitude de l'onde de pression résultant d'une explosion). Dans le cas des rejets de gaz ou de vapeurs, on utilise des modèles de dispersion pour déterminer la taille de la zone affectée et les concentrations moyennes attendues. Pour mettre au point les modèles, il faut connaître la vitesse de rejet du gaz, la hauteur de rejet, les conditions atmosphériques, la géométrie, la température, la pression et le diamètre du rejet. En outre, la

<sup>49</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*.

<sup>50</sup> Ibid.

densité du gaz ou de la vapeur ainsi que le type de rejet (instantané, continu ou variable dans le temps) sont pris en compte. Les outils logiciels utilisés pour estimer la taille des zones touchées par un terme source sont énumérés à l'annexe de la seconde partie.

48. Pour un scénario donné, il est possible d'étudier plus en détail les événements pertinents à l'aide de modèles d'effets dont l'objectif est de déterminer les effets de l'exposition aux substances toxiques, les effets thermiques d'un incendie ou les effets de l'onde de pression et de la boule de feu résultant d'une explosion. Dans le cas des explosions et des incendies, les effets pourraient être une surpression et un flux de rayonnement thermique entraînant des blessures ou des décès ; s'agissant des rejets toxiques, les effets pourraient inclure l'exposition à des concentrations dépassant les valeurs limites (par exemple, des concentrations immédiatement dangereuses pour la vie ou la santé). Ces modèles d'effets permettent de calculer les distances létales afin de déterminer le nombre potentiel de morts ou de blessés en fonction de la densité de population. L'analyse pourrait être étendue à l'étude des conséquences environnementales dans des secteurs plus éloignés de la source, comme la détermination des niveaux d'exposition aux produits chimiques toxiques pour les personnes dans les zones d'impact hors site (par exemple, les zones résidentielles ou commerciales), ou la quantification des rejets de produits chimiques dans les sols ou les cours d'eau.

### 3.7 Analyse par arbre de défaillances

49. L'analyse par arbre de défaillances est une méthode déductive permettant de déterminer la probabilité d'occurrence d'un événement indésirable, par exemple une défaillance du confinement (aussi appelée perte de confinement). L'événement principal, situé au sommet de l'arbre, est défini comme la défaillance à étudier, et l'arbre est construit en établissant une liste de facteurs contributifs qui, ensemble ou séparément, pourraient conduire à cette défaillance (la relation entre ces facteurs est indiquée par des portes logiques et/ou)<sup>51</sup>. Ces facteurs contributifs sont ensuite décomposés en événements de base, qui composent l'arbre de défaillances ; il est ensuite possible de déterminer les coupes minimales, c'est-à-dire les plus petites combinaisons d'événements de base (défaillances de composants et de personnes) conduisant à l'événement principal (voir l'exemple d'arbre de défaillances illustré à la figure 5).

50. L'analyse par arbre de défaillances permet à l'équipe d'analyse de déterminer les causes possibles d'un événement de manière déductive, et de dégager les scénarios critiques. La structure de l'analyse par arbre de défaillances contribue à la visualisation du danger et donne à l'équipe la possibilité d'étudier en détail un seul scénario ou danger à la fois<sup>52</sup>. Associé aux fréquences de défaillance, l'arbre de défaillances fournit des informations quantitatives sur le taux de défaillance, ce qui permet de repérer les chaînes d'événements qui présentent les risques les plus élevés et de définir les points sur lesquels la prévention et/ou l'atténuation doivent se concentrer. Lorsque la relation entre des événements d'un niveau donné est une relation « et », la probabilité de l'événement indésirable du niveau immédiatement supérieur est égale au produit des probabilités de défaillance de ces événements. Lorsque la relation entre des événements d'un niveau donné est une relation « et », la probabilité de l'événement indésirable du niveau immédiatement supérieur est égale à la somme des probabilités de défaillance de ces événements. Il est également possible de calculer les fréquences d'occurrence. La méthode de l'arbre de défaillances permet également d'étudier et de prendre en compte l'efficacité des mesures préventives<sup>53</sup> et de prendre en compte la « défaillance sur demande » (la probabilité qu'un système de sécurité ne soit pas en mesure de remplir sa fonction lorsqu'il est sollicité).

51. L'analyse par arbre de défaillances peut être complexe et nécessite une compréhension approfondie du système étudié. Cependant, elle est largement utilisée comme méthode de base pour évaluer les fréquences des événements dans le cadre de l'analyse quantitative des risques.

<sup>51</sup> CCPS, *Guidelines for Hazard*.

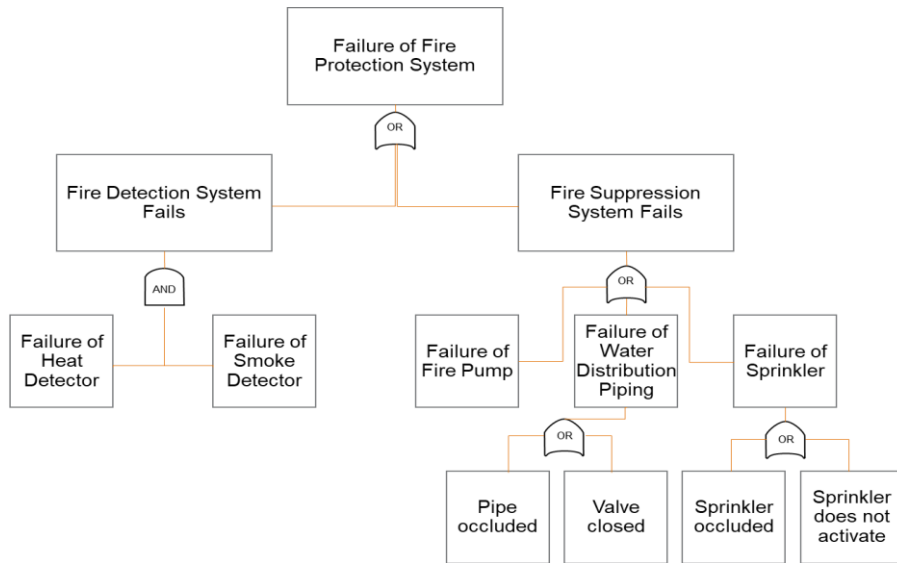
<sup>52</sup> Khan, « Techniques and Methodologies ».

<sup>53</sup> Commission électrotechnique internationale (CEI), norme CEI 61025:2006, Analyse par arbre de panne (AAP) (décembre 2006).

52. Une des limites de l'analyse par arbre de défaillances est que les données sur la fréquence de défaillance et la probabilité de défaillance sur demande des composants du système peuvent comporter un degré d'incertitude et être difficiles à trouver, en particulier si le système ou le composant est trop récent pour qu'on puisse disposer d'un solide historique opérationnel. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'estimer ces données en recourant à des pratiques techniques reconnues ou en se servant de plages de valeurs assorties d'une analyse de sensibilité plutôt que de s'appuyer sur des valeurs isolées. Pour mettre en place un processus d'évaluation des risques harmonisé dans un pays, il est donc important que les propriétaires des installations et les autorités conçoivent ensemble des rapports ou des principes cadres au sein desquels des probabilités de défaillance uniformes sont définies.

Figure 5

#### Exemple d'arbre de défaillances pour un système de protection contre l'incendie



Source : Auteur du présent rapport.

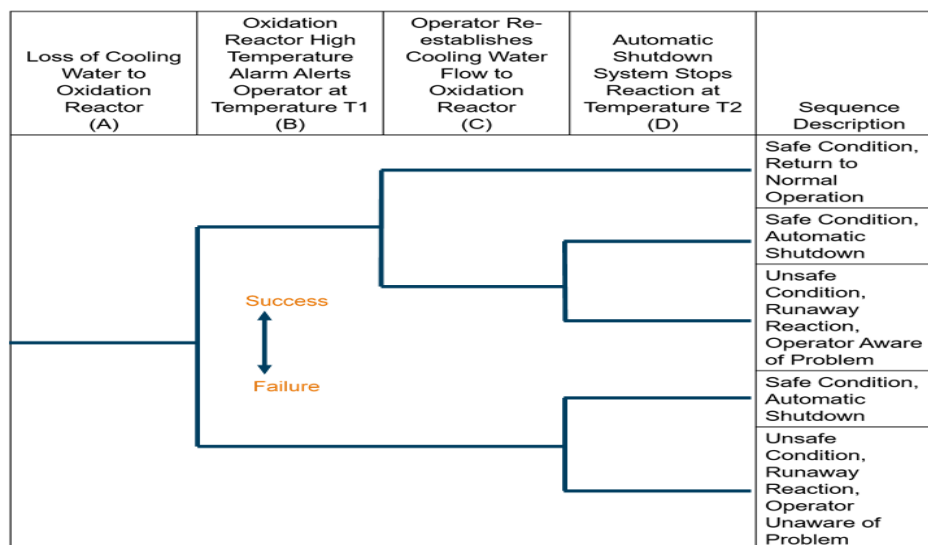
### 3.8 Analyse par arbre d'événement

53. L'analyse par arbre d'événement est une méthode inductive permettant de dresser la liste des différents scénarios qui pourraient découler d'un événement initiateur. L'arbre ainsi construit répertorie diverses séquences d'événements (bon fonctionnement ou défaillance d'un composant) découlant de l'événement initiateur, ainsi que leurs conséquences<sup>54</sup> (voir fig. 6).

<sup>54</sup> P. K. Marhvilas, D. Koulouriotis et V. Gemeni, « Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009 »

Figure 6

**Exemple d'arbre d'événement pour l'événement initiateur « perte d'eau de refroidissement du réacteur d'oxydation »**



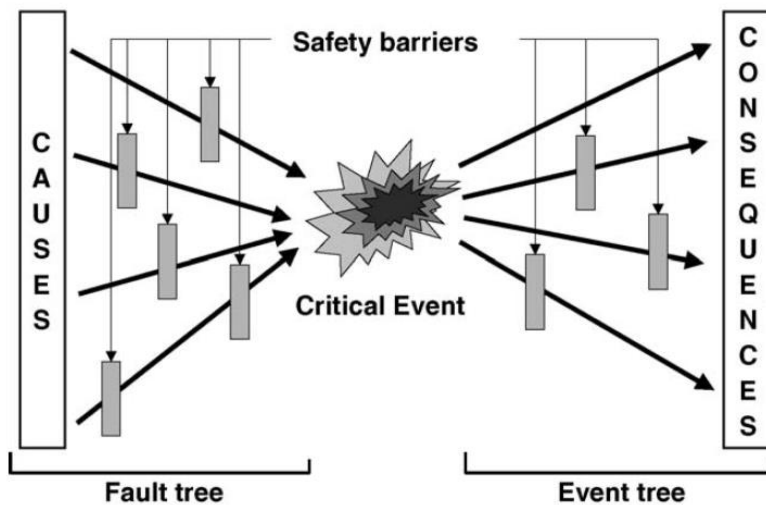
Source : CCPS, *Guidelines for hazard*.

54. Comme l'analyse par arbre de défaillances, l'analyse par arbre d'événement permet de visualiser les conséquences possibles d'un événement initiateur ; cependant, l'exercice peut être complexe et chronophage. Les deux méthodes sont souvent liées en ce sens que l'analyse par arbre de défaillances se penche sur la probabilité que l'événement initiateur se produise, et que l'analyse par arbre d'événement examine la probabilité d'une ou plusieurs conséquences de l'événement initiateur. Par conséquent, l'analyse par arbre de défaillances étudie et prend en compte les mesures de prévention, l'analyse par arbre d'événement étudie et prend en compte les mesures d'atténuation. Comme pour l'analyse par arbre de défaillances, les données sur la fréquence de défaillance et la probabilité des conséquences ne sont pas toujours faciles à trouver, et il est nécessaire de les estimer pour pouvoir procéder à une analyse quantitative.

### 3.9 Diagramme « nœud papillon »

55. Le diagramme « nœud papillon » (fig. 7) est un outil d'analyse des risques basé sur des scénarios ; cette méthode est généralement considérée comme une association de l'analyse par arbre de défaillances et de l'analyse par arbre d'événement. La perte de confinement (ou tout autre événement initiateur) est placée au centre, ses causes à gauche et ses conséquences à droite.

Figure 7  
Diagramme « nœud papillon » du projet ARAMIS



Source : Valérie de Dianous et Cécile Fiévez, « ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance », *Journal of Hazardous Materials*, vol. 130, n° 3 (mars, 2006), p. 220 à 233.

56. Le diagramme « nœud papillon » est un outil puissant qui permet de représenter visuellement de manière claire et compacte les risques majeurs posés par des installations relativement simples (par exemple, des installations de stockage où les opérations sont par nature limitées), de communiquer et d'assurer la coordination avec les parties prenantes ayant moins de connaissances dans le domaine de l'évaluation des risques et de fournir un cadre clair pour la planification des interventions d'urgence en montrant les différents scénarios d'accident découlant d'un même événement, par exemple une perte de confinement, et les barrières de sécurité mises en place pour en atténuer les conséquences. Bien que le diagramme « nœud papillon » soit surtout employé comme support visuel, il est possible d'y recourir pour réaliser une analyse quantitative des risques en utilisant les données de l'arbre de défaillances et de l'arbre d'événement ainsi que les données sur la probabilité ou la fréquence de défaillance des barrières de sécurité, afin de déterminer le risque associé à un événement donné.

#### 4. Éléments importants à prendre en compte dans le choix des outils d'analyse des risques

57. Le choix d'un outil d'analyse des risques dépend de plusieurs facteurs :

- a) Objectifs de l'entité qui fait l'objet de l'analyse des risques et niveau de rigueur requis ;
- b) Critères à respecter (par exemple, objectif en matière de risque quantitatif ou de matrice de risque) ;
- c) Connaissances du personnel et documentation pouvant servir de base pour l'analyse des risques ;
- d) Complexité du processus ;
- e) Ampleur relative du danger et niveaux de risques potentiels ;
- f) Phase de conception du projet.

58. Le niveau de rigueur de la méthode d'analyse des risques (par exemple, qualitative ou quantitative) peut être défini en fonction de la complexité du procédé, du type d'industrie ou les exigences légales du pays. Les procédés et les dangers simples peuvent être traités de manière adéquate à l'aide d'une méthode qualitative, alors qu'un procédé complexe peut nécessiter une méthode quantitative. Le tableau 5 résume les avantages et les inconvénients des différentes méthodes d'analyse des risques abordées dans la présente section.

Tableau 5  
**Comparaison des outils et des méthodes d'analyse des risques**

<i>Méthode/outil</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>	<i>Étapes applicables de l'évaluation des risques (voir fig. 2)</i>
What-if (Que se passe-t-il si ?)/Liste de contrôle	Répertorie les dangers ou les événements accidentels particuliers qui pourraient avoir des conséquences indésirables  Relativement facile à appliquer	Détermine uniquement les conséquences du danger  Outil peu structuré	Identification des risques : Identification des dangers et des éléments vulnérables
HazOp	Méthode systématique d'identification et de documentation des dangers faisant appel à l'imagination  Évaluation simultanée des causes et des conséquences des écarts  Intrinsèquement complète	Ne comprend pas le classement des risques  Chronophage  Nécessite une connaissance détaillée du procédé ; peut ne pas convenir aux applications transfrontières en raison d'éventuels secrets commerciaux	Identification des risques : Identification des dangers et des éléments vulnérables
HazOp avec niveaux de risque	Mêmes avantages qu'HazOp, plus :  Applicable à tout système ou procédure  Comprend le classement des risques pour mieux définir les dangers et les mesures de réduction des risques nécessaires	Chronophage  Nécessite de mettre en place une équipe multidisciplinaire  L'identification des risques repose sur l'expérience de l'équipe HazOp, qui peut être limitée	Identification des risques : Identification des dangers et des éléments vulnérables
AMDE/ AMDEC	Méthode d'analyse inductive permettant de repérer les modes de défaillance grâce à l'analyse systématique de chaque composant du système  Peut être étendue à une méthode quantitative en ayant recours à l'analyse de la criticité (AMDEC)	Peu de données pratiques sur les défaillances des nouveaux systèmes  Il peut être difficile de se concentrer sur les défaillances les plus critiques	Analyse des risques : Formulation des scénarios d'incidents dangereux et définition des mesures d'atténuation
LOPA	Demande moins de temps et d'efforts qu'une méthode entièrement quantitative  Permet de définir plus facilement et de manière plus précise des paires cause-conséquence  Permet de bien appréhender les couches de protection	Ne repère pas systématiquement les dangers  Doit reposer sur un outil d'analyse des dangers  Peut ne pas être efficace pour les scénarios complexes	Analyse des risques : Définition des mesures d'atténuation, estimation des fréquences

<i>Méthode/outil</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>	<i>Étapes applicables de l'évaluation des risques (voir fig. 2)</i>
Analyse des conséquences	Si elle est réalisée correctement, donne des résultats fiables (niveau de confiance élevé) et des arguments solides pour justifier la prise de décision après évaluation des risques	Nécessite d'élaborer des scénarios entièrement quantitatifs et des modèles d'effets  Nécessite une vérification et une validation pour garantir l'exactitude des résultats.	Analyse des risques : Estimation des conséquences
Analyse par arbre de défaillances	Répertorie et modélise les combinaisons de défaillances de l'équipement, d'erreurs humaines et de conditions extérieures conduisant à un accident  Permet à l'équipe d'étudier en détail un seul scénario ou danger à la fois  Méthode de modélisation déductive  Méthode très structurée  Détermine les causes de manière approfondie  Permet de bien visualiser le système et les modes de défaillance	Utilisée plus souvent comme approche orientée système que comme approche orientée conséquences  Nécessite de disposer de données sur la fréquence de défaillance des équipements	Analyse des risques : Estimation des fréquences
Analyse par arbre d'événement	Méthode très structurée  Détermine les causes de manière approfondie  Permet de bien visualiser les résultats	Les données sur la fréquence de défaillance et la probabilité des conséquences ne sont pas toujours faciles à trouver  Peut nécessiter de recourir également à l'analyse par arbre de défaillances	Analyse des risques : Estimation des fréquences
Diagramme « nœud papillon »	Permet de bien visualiser les scénarios d'accidents.  Peut être utilisé de manière qualitative	Nécessite de mener une analyse par arbre de défaillances et une analyse par arbre d'événement pour permettre une compréhension approfondie	Analyse des risques : Définition des mesures d'atténuation

*Source : CCPS, Guidelines for Hazard ; Mannan, Lees' Loss Prevention in the Process Industries : Hazard Identification, Assessment, and Control ; et Peeters, « Improving failure analysis ».*

## 5. Résultats de l'étape d'analyse des risques

59. Les résultats de l'analyse des risques servent de base à l'étape suivante, l'évaluation des risques. Les résultats typiques de l'analyse des risques comprennent :

- a) Une liste des scénarios étudiés, avec les causes et les conséquences ;
- b) Les niveaux de risque calculés ou déterminés pour chaque scénario (par exemple, le risque de décès dû à la rupture d'une cuve de traitement en raison d'une surpression) ;



- c) Dans un contexte transfrontière, les méthodes appropriées pour transmettre les informations sur les risques, y compris les courbes représentant le risque individuel en un point donné, le risque sociétal ou les conséquences directes ;
- d) Une évaluation des conséquences en fonction des valeurs seuils (écotoxicité) permettant de documenter les impacts sur l'environnement ;
- e) Courbes fréquence-gravité (courbes F/N).

## C. Évaluation des risques

60. L'étape suivante consiste à évaluer les risques, une fois que les niveaux de risque des scénarios sélectionnés ont été déterminés. Cette étape permet de définir un niveau ou une plage de risque (calculés ou estimés) acceptables pour les parties prenantes.

### 1. Critères d'acceptabilité des risques

61. Pour déterminer si un événement ou un scénario de défaillance étudié est acceptable pour les parties prenantes en absence de mesures de sécurité supplémentaires, il faut établir un niveau ou une plage de risque acceptables. Ce risque « acceptable » doit être préalablement défini au cours de l'élaboration du cadre d'évaluation des risques, et il doit être accepté par les parties prenantes ou prescrit dans un cadre juridique par les autorités. Ces critères peuvent varier en fonction de la population concernée (par exemple, sur site, hors site, récepteurs sensibles, éléments environnementaux vulnérables tels que les eaux de surface et les eaux souterraines, etc.) et de l'aversion au risque de la collectivité. Il est important de noter que les aspects culturels, géographiques et politiques de l'acceptabilité des risques peuvent se traduire par une grande variabilité des critères d'acceptabilité au sein d'un groupe de pays ou de parties prenantes. Les critères d'acceptabilité des risques doivent être élaborés et appliqués conformément à la méthodologie d'analyse des risques et aux exigences des parties prenantes :

- a) Critères qualitatifs : niveaux de risques indiqués sous la forme élevé/moyen/faible ;
- b) Critères semi-quantitatifs : niveaux de risques numérotés ;
- c) Critères quantitatifs : objectifs chiffrés en matière de risque.

#### 1.1 Critères de risque qualitatifs ou semi-quantitatifs

62. Une matrice de risque est un outil typique mis au point par les parties prenantes pour représenter qualitativement un profil de risque comprenant plusieurs niveaux. En général, la gravité est axée sur l'exposition du personnel (par exemple, blessure, invalidité, décès), mais d'autres facteurs tels que les dommages matériels, les impacts environnementaux, l'interruption des activités et les impacts sur la réputation peuvent être pris en compte. Le tableau 6 illustre un exemple de matrice de risque et de description des niveaux.

Tableau 6

#### Exemple de matrice de risque

		Frequency					
		1 Not likely to ever happen anywhere	2 Never happened in the industry	3 Not likely to happen in the process lifetime	4 May happen in process lifetime	5 Multiple occurrences in process lifetime	6 Multiple instances / year
Severity	1 – No effect	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	2 – Minor injury	Green	Green	Green	Green	Yellow	Orange
	3 – Major injury	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange
	4 – Irreversible or multiple injury	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Red
	5 – Single fatality	Green	Yellow	Yellow	Orange	Red	Red
	6 – Multiple fatality	Yellow	Yellow	Orange	Red	Red	Red

Source : Auteur du présent rapport.

63. Les catégories de risque sont prédéterminées en fonction des contributions des parties prenantes, et les scénarios associés à des niveaux de risques élevés nécessiteront des mesures de réduction des risques. Dans le tableau 6, le niveau de risque vert indique généralement un risque acceptable ne nécessitant aucune mesure supplémentaire, le niveau de risque jaune correspond à un risque tolérable qui implique d'examiner les mesures recommandées, et les niveaux de risque rouge et orange signifient que le risque est intolérable ou inacceptable et que des mesures de réduction des risques doivent être prises.

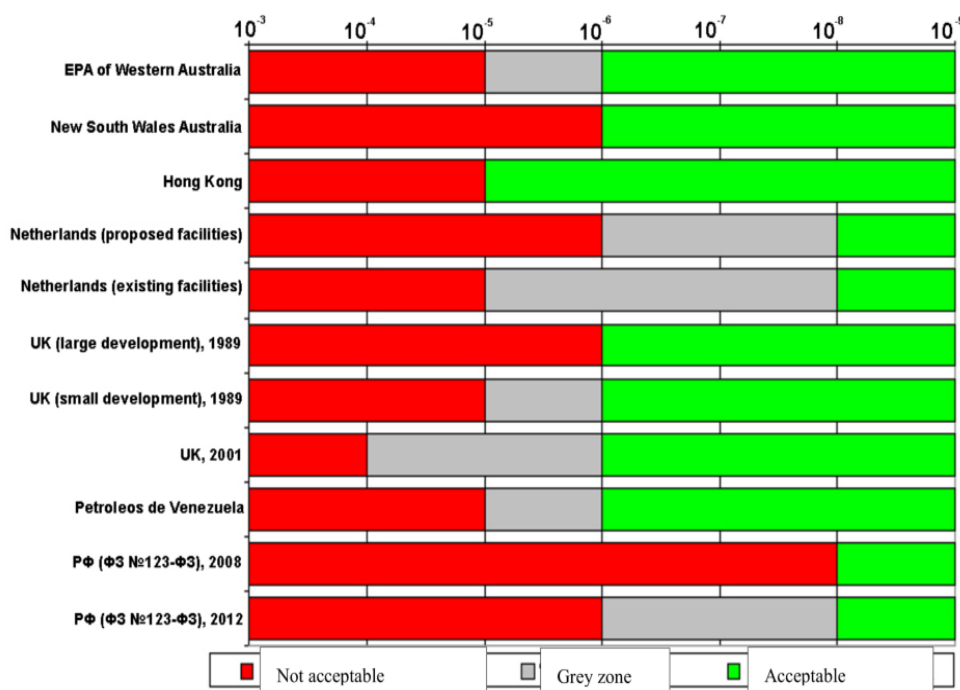
1.2 Critères de risque individuel

64. Les critères de risque utilisés pour l'analyse quantitative des risques doivent être chiffrés. Lorsqu'on examine les conséquences possibles d'un accident industriel pour une personne, on utilise des critères de risque individuel.

65. Il est difficile de parvenir à une définition de « risque acceptable » qui fasse consensus entre les parties prenantes, en particulier dans un contexte transfrontière. Les ordres de grandeur des valeurs seuils des niveaux de risque acceptable ou inacceptable peuvent varier considérablement (voir fig. 8). Il est donc prudent de procéder à des ajustements ultérieurs afin d'améliorer la cohérence entre les parties prenantes<sup>55</sup>.

Figure 8

Comparaison des critères d'acceptabilité du risque individuel par pays (probabilité d'exposition d'une personne à un danger mortel en un an)



Source : Mikhail Lisanov, « Methodological framework for risk assessment in the Russian Federation » présentation donnée lors du séminaire de la CEE sur les méthodes d'évaluation des risques (Genève, 4 décembre 2018).

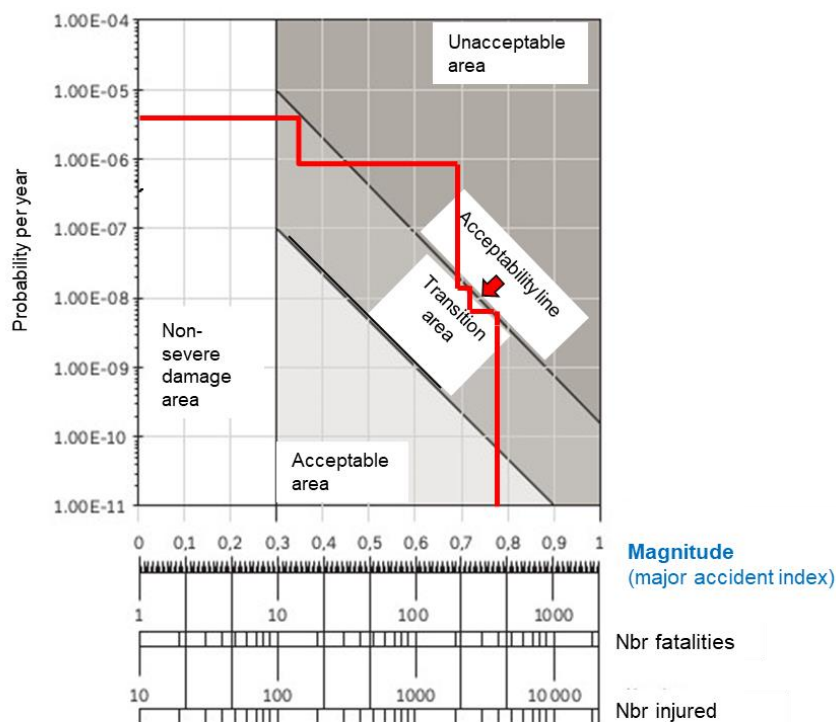
Abréviations : EPA, Agence de protection de l'environnement ; Hong Kong, Hong Kong (Chine) ; UK, Royaume-Uni.

1.3 Critères de risque sociétal

66. Les critères de risque sociétal sont utilisés dans les évaluations des risques lorsqu'il s'agit d'examiner les risques auxquels sont exposées plusieurs personnes ou une population (voir fig. 9).

<sup>55</sup> Martin Merkofer, « Risk Assessment Seminar: Scope, cases selection, effect and risk assessment methodologies », présentation donnée lors du séminaire de la CEE sur les méthodes d'évaluation des risques (Genève, 4 décembre 2018).

Figure 9  
Critères d'évaluation de la Suisse basés sur les courbes fréquence-gravité  
(courbes F/N)



Source : Michael Hösli et autres, Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (Berne, Office fédéral de l'environnement, 2018).

Abréviations : Nbr, nombre.

## 2. Principe « As Low as Reasonably Practicable/Achievable » (ALARP/ALARA)

67. Le principe d'optimisation ALARP/ALARA (aussi faible que raisonnablement possible), prédominant aux États-Unis d'Amérique et au Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, est une méthode utilisée lorsque le niveau de risque résiduel, après application des procédures de maîtrise des risques, se trouve dans la zone grise entre « acceptable » et « intolérable ». Partant du constat qu'il est impossible de ramener le risque à zéro, car le coût serait exorbitant, le principe ALARP/ALARA permet aux utilisateurs de mettre en balance la réduction du risque et les avantages pour la société. Pour qu'un risque soit considéré comme réduit à un niveau aussi faible que raisonnablement possible, l'utilisateur doit démontrer que les coûts associés à une réduction supplémentaire du risque sont « manifestement disproportionnés » par rapport au bénéfice obtenu<sup>56</sup>. Les termes « raisonnablement possible » et « manifestement disproportionné » relèvent du domaine juridique ; l'interprétation exhaustive de ces termes dépasse le cadre du présent document.

## 3. Analyse coûts-avantages

68. L'analyse coûts-avantages est une méthode systématique permettant d'estimer les avantages et les inconvénients des mesures de réduction des risques envisageables en tenant compte de leur coût économique. On détermine les courbes de risque avec et sans mesures de sécurité supplémentaires ; on calcule ensuite les coûts associés à ces mesures de sécurité et on les compare aux avantages, traduits en termes monétaires, qui en découlent sur le plan des risques.

<sup>56</sup> CCPS, *Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria*.

69. S'agissant de l'évaluation des risques posés par les installations chimiques, l'un des principaux atouts de l'analyse coûts-avantages est qu'elle permet de choisir entre plusieurs solutions comparables en matière de réduction de risques. De nombreuses méthodes sont disponibles, notamment la « note de risque » qualitative obtenue, la recherche du moyen le plus économique de réduire le risque à un niveau acceptable ou d'atteindre le point à partir duquel le coût d'une réduction supplémentaire du risque serait « manifestement disproportionné ».

70. Il peut être difficile de mener une analyse coûts-avantages chiffrée dans le cadre de l'évaluation des risques compte tenu de la complexité des systèmes de sécurité et des coûts du cycle de vie associés, notamment la maintenance, l'inspection et les temps d'indisponibilité. Plus précisément, les coûts d'exploitation liés à la mise en œuvre des systèmes instrumentés de sécurité (SIS) ont tendance à être très élevés, en raison de la maintenance et des tests nécessaires, mais aussi à cause des interférences et des fausses manipulations qui peuvent être difficiles à quantifier. Il est donc généralement recommandé de faire appel aux ordres de grandeur pour comparer les solutions de sécurité. D'autres aspects (par exemple, la facilité de mise en œuvre) peuvent également être pris en compte.

71. L'application de l'analyse coûts-avantages à la sécurité des personnes présente des difficultés considérables, notamment en raison des conséquences politiques et sociales qui découlent de l'attribution d'une valeur monétaire à la vie humaine et du choix de calculer les coûts en se fondant sur l'historique des événements plutôt que sur le pire accident possible. Certaines parties prenantes peuvent également négliger ou ignorer l'existence des dispositifs de sécurité déjà mis en œuvre, qui assurent la majeure partie de la réduction des risques et sont pris en compte avant l'étude coûts-avantages. Par conséquent, l'utilisation de l'analyse coûts-avantages aux fins de la réduction des risques est généralement limitée et se concentre sur les risques environnementaux (et autres risques ne concernant pas les personnes). En voici quelques exemples :

a) Le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, qui applique l'analyse coûts-avantages à la réduction des risques selon le principe ALARP (voir sect. C.2) en se basant sur une décision de justice fixant le montant qu'une entreprise devrait être prête à dépenser pour sauver une vie<sup>57</sup> ;

b) La Suisse, qui applique l'analyse coûts-avantages aux risques environnementaux<sup>58</sup>.

## V. Avantages et inconvénients des évaluations des risques

### A. Avantages des évaluations des risques et de l'application des méthodes d'évaluation des risques

#### 1. Aspects transfrontières

72. Lorsqu'elles sont appliquées dans un contexte transfrontière et correctement diffusées, les évaluations des risques peuvent faciliter le partage d'informations et la compréhension des différentes méthodes utilisées et contribuer à l'amélioration de la gestion des risques communs et au renforcement des mesures de prévention, de préparation et d'intervention applicables aux accidents industriels.

#### 2. Aménagement du territoire, protection de la population et des travailleurs

73. L'une des priorités des installations chimiques est de contenir les risques d'accidents majeurs dans les limites de leur propriété, mais cela n'est pas toujours possible lorsque de grandes quantités de substances dangereuses sont en jeu ou lorsque l'espace est limité. Il est donc indispensable de disposer d'une analyse quantitative des risques pour décider de

<sup>57</sup> Health and Safety Executive, "Appraisal values or 'unit costs'", disponible sur [www.hse.gov.uk/economics/eauappraisal.htm](http://www.hse.gov.uk/economics/eauappraisal.htm).

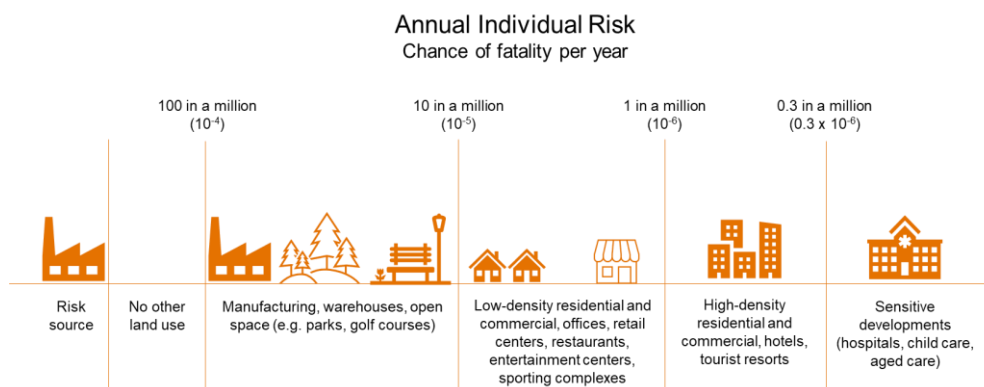
<sup>58</sup> Martin Merkofer, "Risk Assessment Seminar: Scope, cases selection, effect and risk assessment methodologies"

l'aménagement du territoire et assurer la protection des populations, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des frontières nationales.

74. Les évaluations des risques peuvent faciliter l'aménagement du territoire en superposant aux types d'utilisation des terres des courbes donnant un ordre de grandeur approximatif des risques (voir fig. 10). Des directives techniques concernant cette application spécifique sont disponibles auprès de diverses organisations<sup>59</sup>. Comparer les résultats des évaluations des risques aux caractéristiques des futures utilisations potentielles des zones adjacentes permet d'éviter les expositions critiques. On peut par exemple superposer la carte des rejets toxiques à celle des espaces publics extérieurs très fréquentés.

Figure 10

### Zonage et utilisations autorisées



Source : CCAIM, *Risk-based Land-use Planning Guidelines*

75. Les décideurs devraient prendre les mesures appropriées en vue d'atténuer les risques existants pour la population et l'environnement, en tenant compte des informations issues de l'évaluation des risques et d'autres sources telles que les études d'impact sur l'environnement. De plus amples informations sur ce qui constitue une approche cohérente et intégrée de l'évaluation de l'environnement et des risques sont disponibles dans le Document d'orientation sur l'aménagement du territoire<sup>60</sup>, conformément aux obligations des Parties au titre de la Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière, de son Protocole relatif à l'évaluation stratégique environnementale et de la Convention sur les accidents industriels.

### 3. Préparation aux situations d'urgence

76. La connaissance préalable des conséquences potentielles hors site permet aux services d'interventions d'urgence de planifier les activités essentielles, notamment la sécurisation des limites du site, la diffusion d'un message appelant la population à se confiner, la préparation des prestataires de santé à l'utilisation de protocoles de traitement précis et la mise en place d'une surcapacité temporaire pour les secours d'urgence. Le Groupe de coordination interinstitutions sur les accidents industriels et chimiques a mis l'accent sur ce concept<sup>61</sup>.

### 4. Communication et coordination entre les parties prenantes et au-delà des frontières nationales

77. L'évaluation des risques est menée par une équipe multidisciplinaire. Les séances de réflexion favorisent la participation et améliorent la communication et la coordination entre les parties prenantes (exploitants, travailleurs, autres personnels de l'installation, population

<sup>59</sup> Conseil canadien des accidents industriels majeurs (CCAIM), *Risk-based Land-use Planning Guidelines* (Ottawa, 1995).

<sup>60</sup> Document d'orientation sur l'aménagement du territoire, le choix des sites d'activités dangereuses et les aspects de sécurité s'y rapportant (publication des Nations Unies, ECE/CP.TEIA/35).

<sup>61</sup> Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), « International efforts for industrial and chemical accidents prevention, preparedness and response », brochure (n.p., n.d.).

hors site, organismes de réglementation, groupes d'intérêt, autorités locales et voisines chargées de l'application de la loi) et au-delà des frontières nationales. La communication entre les parties prenantes dans ce cadre peut favoriser la prise de conscience des risques, le soutien de la direction et la prise de décisions concertées et réduire l'aversion au risque au sein de la collectivité.

## 5. Méthodes harmonisées de classement et de maîtrise des risques

78. L'application de méthodes d'évaluation des risques complètes, systémiques, bien décrites et normalisées conduit à des évaluations objectives, qui favorisent la prise de décisions plus cohérentes en matière de gestion des risques. Le classement des principaux scénarios et l'identification des principaux facteurs de risque permettent de prendre des mesures d'atténuation des risques appropriées et de réduire ainsi le niveau de risque global d'une installation de la manière la plus efficace possible. Grâce à l'estimation précise de la probabilité des scénarios menant à un événement catastrophique, il est possible de repérer les principaux facteurs de risque et d'allouer des ressources en vue de réduire la probabilité de ces facteurs et de l'événement dans son ensemble<sup>62</sup>. Des critères uniformes d'évaluation des risques permettent de garantir un niveau de protection élevé et homogène de la population et de l'environnement. La revalidation régulière des évaluations des risques peut contribuer à l'amélioration continue.

## 6. Démonstration de la défense en profondeur

79. Le concept de défense en profondeur appliqué à l'industrie chimique est appelé « concept des couches de protection » (voir sect. B.3.5) : il consiste à créer de multiples couches de défense indépendantes et redondantes pour prévenir les accidents majeurs et en atténuer les conséquences. Les méthodes d'analyse des risques permettent d'explorer de manière systémique et détaillée les déviations des procédés et de créer plusieurs couches de protection (certaines méthodes, comme le diagramme « nœud papillon », permettent également de visualiser ces couches).

## B. Inconvénients des évaluations des risques et de l'application des méthodes d'évaluation des risques : limites inhérentes aux méthodes d'analyse des risques

### 1. Limites inhérentes aux méthodes d'analyse des risques

80. Certaines méthodes d'analyse des risques peuvent représenter une séquence d'accidents de manière simplifiée, être peu détaillées et incapables de répertorier toutes les causes ou conséquences potentielles d'un scénario donné (par exemple, les effets domino). Ces limites et inconvénients sont énumérés ci-dessous :

a) Scénario et sélection des paramètres : la description ou la sélection des scénarios peut varier en fonction de l'appréciation ou l'expérience de l'équipe de gestion des risques, ce qui se traduit par une absence d'uniformité de l'approche. De même, la sélection des paramètres (par exemple, la durée d'un événement) peut modifier le résultat de l'analyse des risques et repose souvent sur l'appréciation des experts ;

b) Nombre de scénarios : l'analyse des risques est basée sur un petit nombre de scénarios (ou parfois un seul). Si un événement catastrophique se produit dans une installation, il peut être différent de celui qui a été analysé et nécessiter une stratégie d'intervention différente de celle qui a été établie. Les conséquences peuvent donc être sous-estimées ou ne pas être représentées avec précision ;

c) Données nécessaires : mener une analyse des risques nécessite en général de disposer d'un grand nombre de paramètres et de variables d'entrée, le plus souvent de nature quantitative. Les parties prenantes n'ont pas toujours facilement accès à des données précises

<sup>62</sup> Jérôme Taveau et Jensen Hughes, « Ingénierie de la sécurité incendie – Évaluation du risque d'incendie – Part. 3 : Exemple d'un complexe industriel » ISO/TR 16732-3. 2013. ISO, Genève.

et représentatives. Les estimations utilisées à la place de données précises peuvent comporter un degré d'incertitude ;

d) Incertitude inhérente : les variables utilisées dans l'analyse des risques ne sont pas précises, il est impossible de prévoir les conditions météorologiques à l'instant précis de l'accident, et l'état du terrain, du procédé et du stockage peut avoir changé depuis l'analyse des risques<sup>63</sup>. Cette variabilité entraîne une incertitude inhérente à l'analyse ;

e) Non-universalité : les analyses des risques sont élaborées en tenant compte des particularités d'un site donné. L'analyse des risques n'est pas transposable d'un site ou d'une installation à l'autre, même si ceux-ci sont très similaires : elle doit être adaptée à chaque installation et à chaque procédé ;

f) Résultats : les résultats d'une analyse des risques ne sont pas des vérités absolues : ils mettent en évidence un risque relatif correspondant à un scénario et à des conditions données. En outre, on a tendance à surestimer la fiabilité et la précision des résultats.

## 2. Terminologie

81. Il est indispensable d'adopter une terminologie commune en matière d'évaluation des risques afin que les parties prenantes puissent se comprendre au cours du processus de prise de décisions. Cependant, dans la pratique, les termes utilisés par les professionnels, les institutions ou les pays pour désigner les mêmes concepts peuvent varier. En outre, ces définitions peuvent évoluer dans le temps, à mesure que les concepts existants sont affinés ou que de nouveaux concepts sont introduits. L'établissement d'une terminologie commune peut s'avérer difficile ; il existe peu de glossaires complets couvrant tous les aspects de l'évaluation des risques.

## 3. Formation, expérience et compétences

82. Les évaluations des risques pour les installations chimiques, qui impliquent des systèmes complexes, doivent être menées par des personnes qualifiées. Il est nécessaire de conjuguer formation, expérience et compétences dans des domaines spécifiques tels que le génie chimique, la sécurité des procédés et la prévention des accidents pour comprendre les concepts de base des méthodes d'évaluation et d'atténuation des risques et les mettre en œuvre. Il demeure difficile de constituer une équipe dotée de l'expertise adéquate (notamment quant à la formation), car peu d'universités proposent une spécialisation en sécurité des procédés. Des cadres de certification validant la formation et l'expérience dans le domaine de la sécurité des procédés et de la prévention des accidents ont été établis par certaines organisations (comme l'American Institute of Chemical Engineers et l'Institution of Chemical Engineers) ces dernières années, mais une certification professionnelle plus globale fait toujours défaut.

## 4. Bases de données sur la fréquence des événements

83. Il existe peu de bases de données sur la fréquence des événements qui comportent des valeurs absolues s'appliquant aux activités dangereuses, et lorsqu'elles existent, les incertitudes associées sont élevées étant donné l'âge des bases de données disponibles et le petit nombre d'incidents majeurs (d'un point de vue statistique).

84. Les bases de données génériques de l'industrie ne fournissent pas beaucoup de détails et peu d'experts sont conscients de leurs limites inhérentes, car déterminer l'origine des données est dans la plupart des cas impossible (ou demande d'importants efforts de recherche). Les données provenant d'autres domaines de l'ingénierie, notamment celles qui sont utilisées pour calculer la probabilité de défaillance sur demande, sont difficiles à transposer aux installations chimiques, toujours en raison de la diversité des équipements, des substances dangereuses et des conditions d'exploitation.

<sup>63</sup> Maureen Heraty Wood et Luciano Fabbri, "Challenges and opportunities for assessing global progress in reducing chemical accident risks", *Progress in Disaster Science*, vol. 4 (décembre 2019).

85. Peu d'initiatives visant à rassembler et à valider les données sur la fréquence des événements ont été entreprises dans l'industrie chimique en raison des difficultés à surmonter et des efforts nécessaires pour créer et mettre à jour une telle base de données<sup>64</sup>.

## 5. Quantification des impacts sur l'environnement

86. L'évaluation des causes environnementales (accidents technologiques déclenchés par un événement naturel, ou NaTech) et des conséquences des accidents est souvent négligée dans les évaluations des risques en raison du manque de méthodes et de modèles physiques solides accessibles au public. Cet exercice reste difficile en pratique en raison des nombreuses variables qu'il faudrait prendre en compte. Il existe un outil consacré aux accidents NatTech, à savoir le logiciel RAPID-N développé par le Centre commun de recherche de la Commission européenne. L'élaboration et la diffusion de modèles physiques décrivant les mécanismes de pollution de l'eau et du sol (spécifiquement destinés aux analyses de sécurité) aideraient les professionnels à mener à bien cette tâche plutôt difficile.

## 6. Connaissances limitées des logiciels et difficulté d'accès à ces outils

87. Divers logiciels permettant de réaliser tout ou partie d'une évaluation des risques sont disponibles dans le commerce (voir seconde partie, annexe). D'après les observations du séminaire de la CEE sur les méthodes d'évaluation des risques organisé en 2018, peu de personnes connaissent ces outils. L'accès aux logiciels peut être limité, car le coût des licences et de leur renouvellement est généralement élevé. Par conséquent, les propriétaires des installations risquent de ne pas utiliser le logiciel le plus adapté à leur application ou de n'acheter qu'un seul outil qui peut ne pas convenir à tous les scénarios à étudier. De plus, si le propriétaire d'une installation utilise un logiciel différent de celui dont se sert l'organisme de réglementation, cela peut poser des problèmes de communication entre l'exploitant et l'inspecteur ou l'organisme de réglementation.

## 7. Utilisation de technologies de pointe

88. Le niveau de technologie associé à un procédé ou à une installation est par nature considéré comme le point de départ de l'évaluation des risques. Les pays dont le niveau de technologie initial est faible peuvent avoir besoin de prendre des mesures de sécurité supplémentaires pour atteindre un niveau de risque acceptable, alors que d'autres pays disposent de technologies avancées qui intègrent ces mesures de sécurité supplémentaires.

# VI. Conclusions

89. Le présent rapport contient un aperçu général des méthodes d'évaluation des risques applicables aux risques liés aux activités dangereuses. Les principales conclusions de la première partie sont les suivantes :

a) L'évaluation des risques est importante pour éclairer la prise de décisions relatives à la prévention et l'atténuation des accidents industriels, et ses résultats doivent être pris en compte pour l'aménagement du territoire et le choix des sites des activités dangereuses ;

b) Il est essentiel de partager les informations entre pays voisins et riverains, et au-delà, dans toute la région de la CEE, afin d'améliorer la connaissance et la compréhension des différentes méthodes d'évaluation des risques, ainsi que l'utilisation de leurs résultats, par exemple dans le processus de consultation lié à la notification des activités dangereuses ;

c) À plus long terme, il est important d'harmoniser les définitions des termes couramment utilisés dans le processus d'évaluation des risques (voir sect. B), afin que les différentes parties prenantes puissent en avoir une compréhension commune malgré la diversité de leurs profils et de leurs rôles ;

<sup>64</sup> J.R. Taylor, *Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant: Volume II: Process Unit Release Frequencies – Version 1, Issue 7* (Allerød, Danemark, 2006).



d) Il est important de disposer d'un cadre contextuel définissant la manière dont l'évaluation des risques s'inscrit dans le processus global de gestion des risques (voir sect. C et fig. 1) ;

e) Il est essentiel de décrire les différentes méthodes d'évaluation des risques disponibles et de préciser les conditions dans lesquelles elles sont appropriées (voir sect. III), ces méthodes étant subdivisées en trois catégories : identification des risques (sect. A), analyse des risques (sect. B) et évaluation des risques (sect. C).

90. Dans la seconde partie sont présentées des études de cas qui montrent la manière dont les méthodes d'évaluation des risques ont été appliquées aux installations chimiques de la région de la CEE, y compris dans un contexte transfrontière. L'annexe de la seconde partie fournit des informations supplémentaires sur les outils logiciels qui permettent de prendre en charge les différents aspects de l'évaluation des risques des installations chimiques.

---