

# **MANUEL CANADIEN D'ÉVALUATION DES INCIDENCES SUR LA SANTÉ**

---

## **Volume 3**

### **Rôle du professionnel de la santé**

**Version de travail/Ne pas citer  
Décembre 1999**

Ce document a été divisé dans une série de fichiers pour faciliter leur téléchargement de notre site du web.

Partie 5 de 9

## **Les méthodes d'analyse de risque technologique**

### **Table des matières**

**Introduction**

**Méthodes utilisées pour effectuer une analyse de risque technologique**

**Les méthodes de collecte d'information et d'identification des dangers**

**Estimation des conséquences**

**Estimation des probabilités et des fréquences**

**Conclusion**

**Références**

## Introduction

Jusqu'au début de l'ère industrielle, le simple respect des règles issues de l'expérience acquise était une garantie suffisante pour la conception et la réalisation d'installations relativement sûres. Toutefois, la révolution industrielle, avec la mise en oeuvre de systèmes plus complexes, notamment en terme de machines et de matériaux impliquant souvent l'utilisation d'une grande quantité d'énergie, a modifié cet état de fait.

Dès le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les premiers accidents technologiques se sont manifestés; la fréquence et la gravité de ces accidents se sont généralement accrues tout au cours du XX<sup>e</sup> siècle sans que la nécessité de les prévoir se manifeste réellement avant les années 1960.

Trois grandes classes d'accident technologique peuvent être distinguées<sup>1</sup>:

- Les accidents liés à la fabrication, au transport, à la distribution, à l'utilisation et à l'élimination de matériaux (substances chimiques, infectieuses, radioactives, etc.);
- Les accidents liés à des machines et à des outils (automobiles, avions, etc.);
- Les accidents liés à des processus énergétiques (incinération, cogénération, etc.).

Les accidents technologiques regroupent donc un ensemble assez vaste d'événements, qui englobent aussi bien le rejet accidentel d'une unique substance chimique toxique comme le chlore<sup>2</sup> qu'un accident impliquant un vaste complexe nucléaire<sup>3</sup>.

---

Dans les années 1960 et 1970, c'est justement le risque lié aux complexes nucléaires qui a été à l'origine, pour la population des pays industrialisés, de la prise de conscience du risque technologique<sup>4</sup>, notamment le risque technologique majeur.

Suite à cette sensibilisation, l'accident nucléaire de Three Mile Island aux États-Unis en 1979 et la catastrophe nucléaire de Tchernobyl en Ukraine en 1986 ont clairement confirmé que ces risques étaient réels et qu'ils n'avaient pas été correctement évalués, les enquêtes subséquentes ayant mis en évidence des failles majeures au sein des entreprises responsables<sup>5</sup>.

Dans les années 1970 et 1980, aux accidents nucléaires se sont ajoutés plusieurs accidents chimiques dont ceux de Seveso en Italie (libération de dioxines) en 1976, de la Pemex au Mexique (explosions de gaz)<sup>6 7 8</sup> et surtout de Bhopal en Inde (rejet atmosphérique d'isocyanate de méthyle) en 1984<sup>9 10 11</sup>.

Au Canada, l'accident de Bhopal a conduit le gouvernement fédéral à étudier la possibilité qu'un tel accident se produise sur son territoire, favorisant ainsi la mise sur pied du Conseil canadien des accidents industriels majeurs (CCAIM)<sup>12</sup>. Le CCAIM est un organisme canadien dont le but est de réduire le risque d'accidents impliquant des substances dangereuses, grâce à un processus basé sur la coopération. Le CCAIM est composé de membres représentant les gouvernements, les municipalités, l'industrie, les groupes d'intervention d'urgence, le monde du travail, les groupes d'intérêt public et les universités<sup>13</sup>.

Alors que souvent les accidents technologiques ont un impact nul ou mineur sur la vie, la santé publique<sup>14</sup>, les biens matériels et l'environnement<sup>15</sup>, les événements décrits précédemment ont démontré qu'ils peuvent parfois dégénérer en de véritables catastrophes<sup>16 17</sup>. Par ailleurs, ils peuvent, et ce, en plus des impacts précédemment cités,

---

occasionner une crise<sup>18</sup> au sein des différents acteurs impliqués ou requis pour gérer l'événement<sup>19</sup>: les impacts peuvent alors porter, entre autres, sur la santé mentale des personnes touchées<sup>20</sup>, sur le maintien des emplois, l'image corporative<sup>21</sup> et même la survie<sup>22</sup> des entreprises ou encore sur le fonctionnement de l'appareil gouvernemental<sup>23</sup>.

Au Canada comme ailleurs dans les pays industrialisés, la prise en compte des risques d'accidents technologiques majeurs s'est accrue depuis le début des années 1990, aussi bien en ce qui concerne les installations existantes que pour les projets susceptibles d'engendrer un accident industriel majeur. Au Québec, les directives du ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement ont d'abord porté sur la planification des mesures d'urgence pour exiger désormais, dans certains cas, la réalisation d'une analyse des risques d'accident technologique<sup>24</sup>.

En 1998, cinq (5) directives du MEF précisent pour quel type de projet une analyse des risques d'accident technologique majeur est requise:

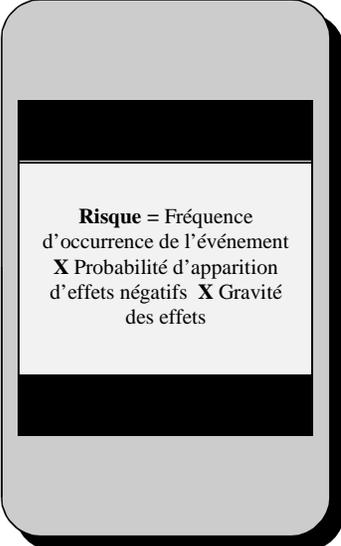
- projet de construction d'un projet industriel;
- projet d'un gazoduc;
- projet d'incinérateur de déchets;
- projet de digue, de barrage, de centrale hydroélectrique ou de détournement de cours d'eau.
- projet de port ou de quai.

En analyse de risque, les notions de fréquence, de probabilité et de conséquences sont primordiales puisqu'elles servent à estimer le risque lui-même. L'association canadienne de normalisation (CSA) définit le risque comme la mesure de la probabilité par la gravité d'un effet néfaste envers la santé, les biens ou l'environnement<sup>25</sup>.

L'analyse du risque technologique permet habituellement d'évaluer, ou de mettre en évidence, au moins deux types de conséquences: une première sur la santé et la sécurité des personnes, puis une deuxième sur l'environnement. Dans le premier cas, il faut évaluer le risque de mortalité, de blessures ou d'exposition à une substance dangereuse au sein d'une population donnée, etc. Dans le contexte d'une évaluation d'impact préalable à l'implantation d'une activité industrielle, l'objectif est d'identifier des liens de cause à effet pouvant affecter les travailleurs, la population environnante et les intervenants d'urgence. L'évaluation du risque pour l'environnement naturel peut être plus difficile à qualifier et à quantifier puisque l'ensemble des interactions écologiques au sein d'un écosystème n'est pas toujours bien compris.

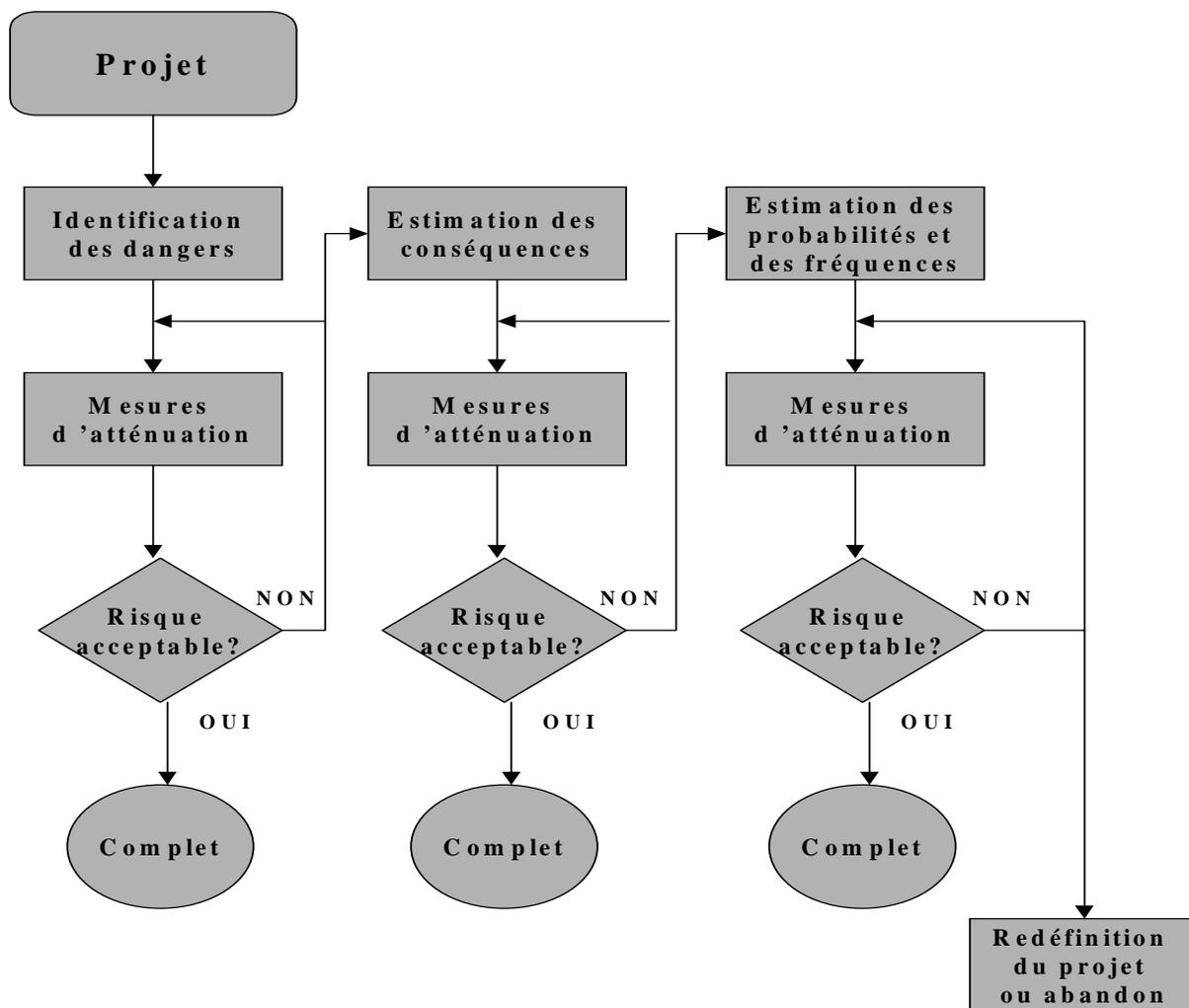
Dans le cas d'événements affectant la vie et la santé publique<sup>26</sup>, le risque est considéré comme la mesure du produit de la fréquence d'occurrence de l'événement (probabilité d'apparition de l'événement dans le temps) par la probabilité que des effets négatifs se manifestent et par la gravité des effets<sup>27</sup>. Cette notion de risque au regard de la santé publique s'exprime donc différemment de la formulation habituelle qui comprend la fréquence d'occurrence et les conséquences estimées. En effet, il est essentiel en santé publique de considérer la probabilité d'apparition d'effets négatifs, puisque ce ne sont pas tous les accidents technologiques qui entraînent des conséquences néfastes pour la santé ou la vie humaine. De plus, il faut tenir compte de la gravité des effets négatifs, s'il y a lieu, afin de compléter l'analyse de risque.

Il faut retenir qu'il existe d'autres paramètres pour caractériser un accident technologique. Dynes distingue les événements selon 5 paramètres: leur prévisibilité, leur soudaineté, le temps d'alerte, la durée de l'urgence et l'étendue de l'impact<sup>28</sup>. Burton, Kates et White proposent d'en retenir 7: la



**Risque** = Fréquence  
d'occurrence de l'événement  
**X** Probabilité d'apparition  
d'effets négatifs **X** Gravité  
des effets

fréquence, la magnitude, la rapidité de développement, la durée, l'étendue de surface, la dispersion spatiale et l'espacement temporel<sup>29</sup>.



**Figure 1** - Exemple de méthodologie d'analyse de risque technologique

L'identification des dangers, comme son appellation l'indique, consiste à dresser la liste des dangers que présente un projet<sup>30</sup>. L'OCDE définit le danger en termes de "propriété intrinsèque d'une substance, d'un agent, d'une source d'énergie ou d'une situation qui peut

entraîner des conséquences indésirables”<sup>31</sup>. Par exemple, l'un des dangers que représente un flacon de mercure dans un laboratoire est lié à la toxicité des vapeurs mercurielles auxquelles une personne peut être éventuellement exposée suite à un déversement. De même, l'un des dangers d'un complexe nucléaire est qu'une grande quantité de substances radioactives est présente sur le site. En s'échappant d'un réacteur, ces substances peuvent engendrer des conséquences indésirables. Le terme danger n'inclut donc pas la notion de fréquence d'occurrence qui est utilisée pour déterminer le risque.

L'identification des dangers vise à répertorier tous les éléments ou les systèmes du procédé technologique et en identifier les défaillances possibles. Cette identification peut se faire à l'aide de méthodes simples, comme une revue de littérature, mais peut également être réalisée dans le cadre d'un processus plus complexe comme un audit de sécurité.

Certaines de ces méthodes peuvent être difficilement utilisables dans le contexte d'une évaluation environnementale préalable à l'implantation d'un procédé technologique. Ainsi, l'audit de sécurité implique une visite du complexe industriel ou, minimalement, un examen minutieux des plans détaillés du fonctionnement de l'entreprise; il sera donc plus facile de procéder à un audit de sécurité postérieurement à l'implantation de l'industrie. Les principales méthodes sont présentées dans la section suivante de ce chapitre.

### **Méthodes utilisées pour effectuer une analyse de risque technologique**

L'analyse de risque technologique telle que pratiquée par les firmes d'ingénieurs-conseils<sup>32</sup> en Amérique du Nord comprend en général les sept (7) étapes suivantes: collecte d'information, identification des dangers<sup>33</sup>, estimation des conséquences, estimation des probabilités et des fréquences<sup>34</sup>, quantification des risques, évaluation des risques,

gestion du risque et mesures d'atténuation.

Dans le cadre d'une évaluation environnementale typique, comme celles entreprises par ou pour un promoteur industriel, souvent seules les trois premières étapes sont réalisées.

Ne procéder qu'à la collecte de l'information, à l'identification des dangers et à l'estimation des conséquences peut se révéler, dans certains cas, amplement suffisant dans le cadre d'une évaluation environnementale. Les méthodes utilisables pour ces étapes sont qualitatives ou quantitatives, mais suffisamment précises pour qu'il soit possible d'identifier les causes de défaillance, les principales conséquences, la gravité ainsi que les mesures préventives à mettre de l'avant. Le portrait établi permettra de faire des recommandations afin de protéger la santé et la sécurité ainsi que l'environnement, au terme du processus d'évaluation environnementale.

Pour l'étape de l'estimation des probabilités et des fréquences, les méthodes reconnues impliquent une connaissance détaillée et approfondie du système technologique évalué. Ces méthodes sont habituellement basées sur une bonne connaissance du schéma opérationnel ("process flow") du procédé technologique. Un exemple de méthode d'analyse de système, permettant de calculer les fréquences, sera présenté dans la troisième partie de cette section.

### **Les méthodes de collecte d'information et d'identification des dangers**

L'expérience antérieure, acquise lors de l'implantation de diverses technologies, est bien entendu une source fondamentale de renseignements (c'est d'ailleurs la méthode d'identification la plus simple à utiliser). Néanmoins, lorsqu'il s'agit d'une technologie nouvelle ou mal connue, il est préférable d'utiliser une ou plusieurs méthodes spécifiquement développées pour identifier les dangers.

---

Ces méthodes ont plusieurs caractéristiques communes<sup>35</sup>:

- elles procèdent d'une démarche inductive, c'est-à-dire que, partant d'une cause quelconque, elles cherchent à mettre en évidence les effets sur le système étudié;
- elles s'appuient sur une décomposition du système en sous-systèmes, fonctions, composants, etc. à partir de laquelle les éléments dangereux, les déviations et les défaillances sont identifiés afin d'en déterminer les conséquences;
- elles sont conduites à partir de fiches (tableaux préétablis) dont les diverses colonnes sont à remplir par un analyste seul ou un groupe (voir les figures 2 à 5);
- elles cherchent à s'assurer que, pour chaque danger potentiel mis en évidence, les moyens de détection appropriés sont en place;
- elles ne se préoccupent que d'événements simples, c'est-à-dire qu'elles n'appréhendent pas (ou difficilement) les combinaisons d'événements multiples susceptibles de conduire à un risque potentiel.

Sept (7) méthodes utilisables pour identifier les dangers sont présentées ici, en commençant par les plus simples. Plusieurs de ces méthodes sont similaires; elles se différencient toutefois par quelques éléments, certaines ayant été mise au point pour l'évaluation de dangers spécifiques (par exemple, HAZOP pour l'industrie chimique).

Les méthodes décrites sont les suivantes: revue de littérature, visites d'usines, "brainstorming / what if", analyse préliminaire du risque (APR), étude sur les risques et l'exploitabilité (HAZard and OPerability studies- HAZOP)<sup>36</sup>, analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de la criticité - AMDEC (FMECA) et audit de sécurité.

**Revue de littérature :** La revue de littérature pourrait être qualifiée de méthode de base pour l'identification des dangers, compte tenu du fait qu'elle peut être utilisée par toute personne impliquée dans un processus d'évaluation environnementale et que, dans les

faits, elle est systématiquement appliquée. La revue de littérature possède plusieurs caractéristiques qui la rendent fort intéressante: elle est applicable à tous les produits et procédés ou à toutes les technologies, elle peut se faire par une seule personne et elle peut être exécutée par des analystes peu expérimentés. Ces caractéristiques font de la revue de littérature une méthode attrayante et un excellent point de départ.

Souvent des articles relatant des incidents ou des accidents technologiques peuvent être utilisés. Par exemple, l'accident de Seveso, en 1976, a donné lieu à la publication de dizaines d'articles qui ont analysé tant les causes possibles que les conséquences sur la santé. Par ailleurs, lorsque l'on possède peu d'information sur le fonctionnement d'une technologie, il est possible d'identifier les principaux produits impliqués. Dans ce cas, il faut obtenir les documents ou les fiches qui traitent de ces produits et de leurs effets en cas d'incendie, explosion ou de rejet accidentel.

Un produit donné, comme le chlore par exemple, conserve toujours les mêmes caractéristiques toxicologiques de base peu importe la source d'émission. Le tableau 1 donne neuf (9) exemples de sources d'information concernant des produits chimiques.

**Tableau 1** - Sources d'information canadiennes et américaines concernant des produits chimiques

Organisme	Sigle de l'organisme	Titre de la source d'information	Type de source d'information
Environnement Canada www.etcentre.org	EC - DOE	Enviroguide	Documents d'une centaine de pages publiés vers 1984-1985 (mise à jour en cours)
Transports Canada www.tc.gc.ca/canutec	TC - DOT	Guide Nord-Américain des Mesures d'Urgence 1996	document papier version internet (téléchargeable)

Canadian Centre for Occupational Health and Safety www.ccohs.ca	CCOHS	CHEMINFO www.ccohs.ca/ products/databases/ cheminfo.html	disponible sur les CD-ROMs MSDS et CHEM Source et sur CCINFOweb.
Commission de la Santé et de la Sécurité du travail (Québec) www.csst.qc.ca/	CSST	INFOTOX	accessible par modem, éventuellement sur internet
U.S.EPA (Environmental Protection Agency) www.epa.gov/ swercepp/tools.html	EPA	CAMEO, ALOHA, etc.	différents outils consulter le site
American Industrial Hygiene Association www.aiha.org/ pubs/expopub.html	AIHA	Emergency Response Planning Guidelines (ERPGs)	document papier
National Institute for Occupational Safety and Health www.cdc.gov/ niosh	NIOSH	RTECS www.mdx.com/ po-rtecs.htm	fiches
		NIOSH Pocket Guide www.cdc.gov/ niosh/npg.html	document papier CD-ROM disquettes
National Fire Protection Association www.nfpa.org	NFPA	NFPA-49 Hazardous Chemical Data www.nfpa.org/ Resources/ hazchem_resources. html	document
		NFPA-325 Fire Hazard, Properties of Flammable Liquids, Gases and Volatile Solids	document
U.S. Coast Guard www.uscg.mil		CHRIS www.mdx.com/ po-chris.htm	base de données internet
ATSDR		Hazdat http://atsdr1.atsdr.cdc.gov:8080/hazdat.html	internet

Au niveau international, il existe des bases de données spécialisées concernant les accidents industriels. Le tableau 2 fournit l'adresse de huit (8) producteurs de telles bases.

Une des plus utiles est la base de données informatisée ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du ministère français de l'Environnement. ARIA décrit des situations accidentelles s'étant produites à travers le monde à l'aide de 2200 paramètres caractéristiques<sup>37</sup> articulées autour de quatre (4) champs<sup>38</sup>:

### 1. Le site

- Localisation
- Statut juridique et administratif
- Type d'activité économique
- Caractéristiques de l'installation
- Contexte humain de l'exploitation

### 2. L'événement

- Situation météorologique
- Typologie
- Conditions d'exploitation
- Équipements concernés
- Analyse des défaillances et de leurs causes
- Principaux produits impliqués
- Personnel impliqué
- Intervention et secours

### 3. Les conséquences

- Conséquences humaines
- Dommages matériels
- Privations d'usage
- Atteintes aux milieux naturels
- Autres dommages au patrimoine

- Atteintes à la faune
- Atteintes à la flore
- Évolution d'indicateurs biologiques
- Conséquences économiques

#### 4. Les suites

- Suites administratives
- Suites pénales
- Nettoyage et décontamination

**Tableau 2.** Bases de données spécialisées concernant les accidents industriels.

La revue de littérature ne doit pas se limiter à interroger des banques de données bibliographiques ou des bases de données factuelles. Elle doit aussi inclure la consultation de spécialistes travaillant dans des organismes publics ou para-publics internationaux, fédéraux, provinciaux, régionaux ou locaux qui sont habituellement en mesure de fournir des rapports difficiles à localiser autrement ("littérature grise"), sans compter leurs expertises personnelles parfois indispensables. De plus, dans certains cas, il est possible d'obtenir des informations complémentaires utiles de certains groupes de protection de l'environnement. Ces derniers possèdent souvent des données préparées dans d'autres pays et obtenues lors d'échanges internationaux entre ces groupes. De plus, la recherche de banque de donnée par le truchement de l'Internet devient de plus en plus inestimable.

En conclusion, la revue de littérature est une méthode accessible à toutes les personnes intéressées par l'identification des dangers; de plus, il n'est pas nécessaire d'être un analyste expérimenté pour l'utiliser. Il est important également de se souvenir que la majorité des études d'impact identifient les dangers en utilisant cette seule méthode.

**Visite d'usine:** La visite d'usine est une méthode qui, bien que réalisable dans plusieurs circonstances, se révèle déjà plus difficile que la revue de littérature. Elle implique d'abord l'existence d'une usine, ou d'un procédé technologique similaire à celui en évaluation, ailleurs dans le monde. Afin qu'une telle visite d'usine soit fructueuse, il est nécessaire d'avoir des spécialistes ou des personnes d'expérience au sein de l'équipe. Autrement, les visiteurs risquent de voir uniquement ce que les responsables de l'usine veulent bien montrer et, de plus, ils seront dans l'impossibilité de poser des questions précises sur telle ou telle étape du procédé.

**“Brainstorming - what if”:** Cette méthode, qui peut être traduite par “remue-méninges”, peut compléter la revue de littérature ou la visite d'usine en posant des questions précises sur l'existence de certains dangers potentiels. La méthode est applicable à tout type de

procédé et elle peut être exécutée par des analystes peu expérimentés. A partir de la question générale “Qu’est-ce qui se produit si...?”, on doit établir les conséquences possibles d’un dérèglement, effectuer des recommandations et identifier une personne responsable pour chaque situation. L’information doit être présentée sous forme écrite, comme le montre la figure 2, et elle peut apparaître à titre d’annexe à un rapport d’évaluation environnementale. Son contenu servira à préciser la nature des dangers ainsi que les recommandations du rapport d’évaluation. Il faut préciser que cette méthode doit faire appel à une équipe multidisciplinaire et que l’expérience de l’équipe en question influence fortement les résultats. En effet, puisqu’il s’agit d’une méthode peu structurée, il est facile de mettre l’emphase sur un aspect ou un danger en particulier au détriment d’un autre que l’expérience de l’équipe ne pourrait pas mettre en évidence.

**Figure 2** - Analyse de risque technologique selon la méthode “remue-méninges”  
(Brainstorming - What if...?) - Exemple d’un incinérateur

“Qu’est-ce qui se produit si...?”	Conséquences	Recommandations	Responsable	Date d’exécution
1. La pression augmente dans l’incinérateur	Surpression	<ul style="list-style-type: none"> <li>- équiper l’incinérateur d’une cheminée d’urgence</li> <li>- Vérifier périodiquement l’état de la cheminée d’urgence et de son système de contrôle</li> </ul>	Ingénieur d’usine	

<p><b>2. La cheminée d'urgence est défectueuse</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La fumée peut s'échapper par les interstices du four</li> <li>- Les concentrations en monoxyde (CO) de carbone peuvent augmenter</li> <li>- Des employés peuvent être exposés au CO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installer un baromètre dans le four et le relier avec un ventilateur primaire</li> <li>- Installer des détecteurs de fumée et de monoxyde de carbone reliés à une alarme d'évacuation</li> </ul>	<p><b>Surintendant de l'entretien</b></p>	
--	---	---	---	--

**Analyse préliminaire des risques (APR) par listes de contrôle:** Une telle analyse se pratique à l'aide d'un tableau dont un exemple est donné à la figure 3. Il s'agit d'identifier les divers éléments dangereux du procédé ou du système étudié et d'évaluer le potentiel de chacun de dégénérer en un accident plus ou moins grave. L'analyste effectuant une APR s'aide avec des listes de contrôle ("check lists") d'éléments et de situations dangereuses. Ces listes sont adaptées au domaine ou à la technologie en évaluation. Il faut noter que les colonnes "Gravité" et "Conséquences" (figure 3) permettent d'établir une hiérarchie alors que les colonnes "Mesures préventives" et "Application des mesures" conduisent à s'interroger sur les mesures à mettre en place pour détecter, maîtriser, ou éliminer, le danger.

**Figure 3** - Analyse de risque technologique selon la méthode APR  
(Analyse préliminaire des risques)

<b>Sous système ou fonction</b>	
<b>Phase</b>	
<b>Élément dangereux</b>	
<b>Événement causant situation dangereuse</b>	
<b>Situation dangereuse</b>	
<b>Événement causant accident potentiel</b>	
<b>Accident potentiel</b>	
<b>Conséquences</b>	
<b>Gravité</b>	
<b>Mesures préventives</b>	
<b>Applicatiodes mesures</b>	

Cette méthode n'est pas destinée à entrer dans les détails; elle vise plutôt à mettre rapidement en évidence les plus importants problèmes susceptibles d'être rencontrés. Elle peut être employée dès la présentation d'un projet, mais elle est également conçue pour être mise à jour au fur et à mesure de l'avancement de la conception, ainsi que durant la phase d'exploitation du système étudié. L'emploi de l'APR peut donc déborder de l'évaluation environnementale préalable à l'implantation d'un projet; elle pourrait être utilisée pour le suivi des risques en cours d'exploitation (de fonctionnement) du système, après son implantation.

**La méthode HAZOP:** La méthode "HAZard and OPerability studies"<sup>39</sup> est surtout destinée à identifier les dangers inhérents à l'industrie chimique. Elle est appréciée dans ce secteur car elle permet d'appréhender l'influence des déviations des procédés par rapport à leur fonctionnement normal. Cette méthode est mise en pratique à l'aide de tableaux à colonne, dont un exemple est donné à la figure 4 à certains égards, il s'agit d'une

application plus structurée de la méthode "Brainstorming - what if?".

**Figure 4** - Analyse de risque technologique selon la méthode HAZOP

(Hazard and Operability Studies) - Exemple: d'un incinérateur - Sous- système: alimentation d'air

<b>GW (Group word) Mot-clé</b>	<b>Déviations dangereuses</b>	<b>Causes possibles</b>	<b>Conséquences</b>	<b>Mesures de mitigation</b>	<b>Remarques</b>	<b>Par :</b>
<b>Aucun</b>	<b>Aucun débit</b>	<b>Panne électrique</b>  <b>Ventilateurs primaires et secondaires en arrêt</b>  <b>Valve bloquée fermée</b>  <b>Filtre à air bouché</b>	<b>Arrêt de l'incinérateur</b>  <b>Explosion du four</b>  <b>Domages aux systèmes d'épuration</b>	<b>Arrêt automatique en cas de panne électrique</b>  <b>Doubler les compresseurs avec démarrage du second en cas d'arrêt du premier</b>  <b>Entretien hebdomadaire du filtre à air</b>		

Afin de stimuler le processus de réflexion créative, des mots-clés ("group words"), schématisant l'importance des déviations, par rapport aux valeurs nominales, sont utilisés: plus, moins, pas du tout, etc. Ces mots-clés servent à qualifier divers types de paramètres comme la pression, la température, le débit, etc. Dans chaque cas, l'analyste met en évidence les causes, les conséquences, les moyens de détection et les actions correctrices (mesures de mitigation).

La méthode HAZOP s'emploie notamment au sein d'entreprises désireuses de préparer un plan de mesures d'urgences pour faire face à un accident technologique. Il faut cependant noter que des données obtenues lors d'une analyse antérieure pourraient être utilisées dans le cadre de l'évaluation environnementale d'un procédé technologique similaire que l'on veut implanter ailleurs. La méthode HAZOP peut donc être réutilisée dans le cadre de l'évaluation environnementale d'un projet. L'application de la méthode HAZOP implique le travail d'une solide équipe multidisciplinaire de spécialistes sous la direction d'un animateur chevronné aidé d'un secrétaire technique ainsi qu'une connaissance très détaillée du schéma de fonctionnement ("process flow") d'un procédé technologique. L'approche HAZOP est interdisciplinaire, flexible, systématique et permet de produire un rapport complet bien documenté. L'approche HAZOP peut être informatisée et les outils pour le faire (tels - HAZOP-PC, HAZOP Plus for Windows) sont disponibles sur le marché.

**La méthode AMDE:** La méthode AMDE (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets), qui est souvent désignée par son acronyme anglophone, FMECA ("Failure Modes and Criticality Effect Analysis")<sup>40</sup> a été mise au point dans les années 1960 pour le domaine aéronautique. Elle s'est par la suite imposée dans le domaine spatial, l'industrie chimique, l'industrie automobile, puis dans l'ensemble des secteurs ayant recours à la technologie. Son intérêt vient de son apparente facilité de mise en œuvre qui ne nécessite pas de connaissances théoriques approfondies; elle peut donc être réalisée par des analystes peu expérimentés et elle peut être effectuée par une personne seule ou par une équipe.

L'AMDE est orientée vers l'analyse des composantes et des équipements d'une technologie. A l'instar d'autres approches décrites dans ce chapitre, elle est réalisée à partir d'une fiche spécifique comme celle de la figure 5. En général, chaque domaine technologique ou industriel possède sa propre fiche qui est souvent à l'origine de guides

techniques, de standards ou de normes. L'application de cette méthode consiste à considérer systématiquement, l'un après l'autre, chacun des composants du système étudié et à analyser chacune des défaillances possibles dudit composant.

**Figure 5** - Analyse de risque technologique selon la méthode A.M.D.E.C. - FMECA (Failure Modes and Criticality Effect Analysis) Exemple: d'un incinérateur Composante: valve

Composante	Défaillance	Conséquences	Mesures de mitigation	Mesures de mitigation additionnelle
Valve 1 (Contrôle de température par injection de propane)	Valve bloquée en position ouverte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation de la température du four</li> <li>- Bris du réfractaire</li> <li>- Surpression dans le four</li> <li>- Risque d'explosion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fermer valve 2</li> <li>- Alarme de haute température</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installer une alarme de haute pression</li> <li>- Informer (manuel) et former les employés</li> </ul>
	- Valve bloquée en position fermée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baisse de la température du four</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretien préventif</li> </ul>	
	- Fuite externe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque d'incendie</li> <li>- Risque d'explosiion</li> <li>- Température du four difficile à contrôler</li> <li>- Perte économique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi de la pression dans le réservoir de propane</li> <li>- Suivi de l'inventaire de propane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Placer la conduite à l'extérieur</li> </ul>
	- Fuite interne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte température dans le four</li> <li>- Risque d'explosion à l'arrêt du four</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Placer une valve manuelle à l'entrée du four</li> <li>- Informer (manuel) et former les employés</li> </ul>

La méthode peut être raffinée en ajoutant deux colonnes supplémentaires: "probabilité" et "gravité" dont la combinaison permet de caractériser la "criticité" de la défaillance à évaluer. Ces colonnes sont habituellement remplies de manière semi-quantitative avec des

termes comme “très improbable”, “improbable”, “significative”, “catastrophique”, etc.

La réalisation d'une AMDE est utile car, avant de se demander comment un système tombe en panne, il faut bien avoir compris comment il fonctionne. Dans certains cas, l'analyste, à cause de sa démarche systématique, comprendra mieux le fonctionnement du système que l'exploitant lui-même.

Concernant l'emploi de l'AMDE dans une évaluation environnementale, les remarques faites à l'égard de la méthode HAZOP sont applicables: l'AMDE est utilisable à condition de connaître le fonctionnement détaillé d'un procédé technologique, ce qui n'est pas toujours le cas des analystes travaillant sur une évaluation environnementale. Avoir en main les résultats d'une AMDE antérieure, dans le contexte d'une évaluation environnementale, constitue toutefois un atout considérable.

**Audit de sécurité:** Un audit de sécurité ou “analyse de sûreté des systèmes”, est une combinaison de deux méthodes, soit la visite d'usine et la création d'une liste de vérification. Cette dernière est une approche structurée, applicable à tous les procédés, qui peut être exécutée par des analystes peu expérimentés. Une liste de vérification typique comprend plusieurs rubriques permettant d'identifier un danger par thème identifié (figure 6).

**Figure 6** - Analyse de risque technologique par audit de sécurité (liste de vérification) Exemple : Danger lié aux matières dangereuses (chlore)

**Liste de vérification**

**Inventaire des matières dangereuses**

- corrosives
- explosives
- inflammables
- lixiviables
- radioactives

**Quantités entreposées pour chacune des matières dangereuses**

- Nombre de réservoirs
- Capacité

Mesures de sécurité prévues pour chaque réservoir

- Alarme de haut-niveau
- Double paroi
- Digue de rétention
- Etc.

**Exemple : Inventaire de chlore dans une usine de pâtes et papiers à l'aide du logiciel IGLOU (Régie régionale de la Santé et des Services sociaux du Québec)**

**Inventaire des matières dangereuses**

Usine Les papiers du Nord Inc.  
Sites à risque fixes Entreprises

1 / 0  
Sélection

2 APR 96

**Matières dangereuses**

Nom	Localisation sur le site
CHLORE	Départ. Vapeur (cour)
ESSENCE	Dépt. Cour
ESSENCE	Dépt. Cour

Nombre de contenants pour ce produit : 1      Qté. tot. pour cette localisation : 1

**Nombre total de contenants pour cette adresse : 1**       Calcul

**N.I.P. : UN1017**  
 Numéro Chemical Abstract  
 Service (CAS) : 7782-50-5

État : Liquide

Concentration en % du poids : 100 %

Classe de transport  
 Classe : 2.3

**Commentaires**      **Conditions d'entreposage**

L'audit de sécurité peut être réalisé par un individu, qui devra cependant être accompagné d'une personne spécialiste pour chacun des sujets évalués (protection contre les incendies, entreposage de matières dangereuses, etc.). Il faut cependant préciser que l'audit est applicable à un procédé spécifique, mais plus difficilement à un projet global. A l'instar des audits de conformité environnementale (série ISO 14 010), l'audit de sécurité permet surtout de faire une évaluation en période de fonctionnement du système technologique étudié. On pourra cependant employer des rapports d'audits de procédés existants à titre de documents de support dans une évaluation environnementale portant sur un projet basé sur un procédé similaire.

### **L'estimation des conséquences**

L'estimation des conséquences, contrairement à l'identification des dangers qui est qualitative, s'effectue à l'aide de méthodes quantitatives qui mènent à la connaissance de l'importance des effets appréhendés<sup>41</sup>. Des manuels techniques regroupant ces méthodes (ex: fuite de liquide, de gaz, BLEVEs, etc.) ont été publiés, notamment par la Banque mondiale<sup>42</sup> et l'Institution of Chemical Engineers (IChemE)<sup>43</sup>...

L'estimation des conséquences liées à des scénarios d'accidents permet de connaître les zones à l'intérieur desquelles la santé et la sécurité des populations environnantes ainsi que l'intégrité de l'environnement (naturel et humain) pourraient être affectées, ainsi que la présence d'éléments sensibles identifiés précédemment. Ces informations sont retenues en particulier pour la planification des mesures d'urgence<sup>44</sup>.

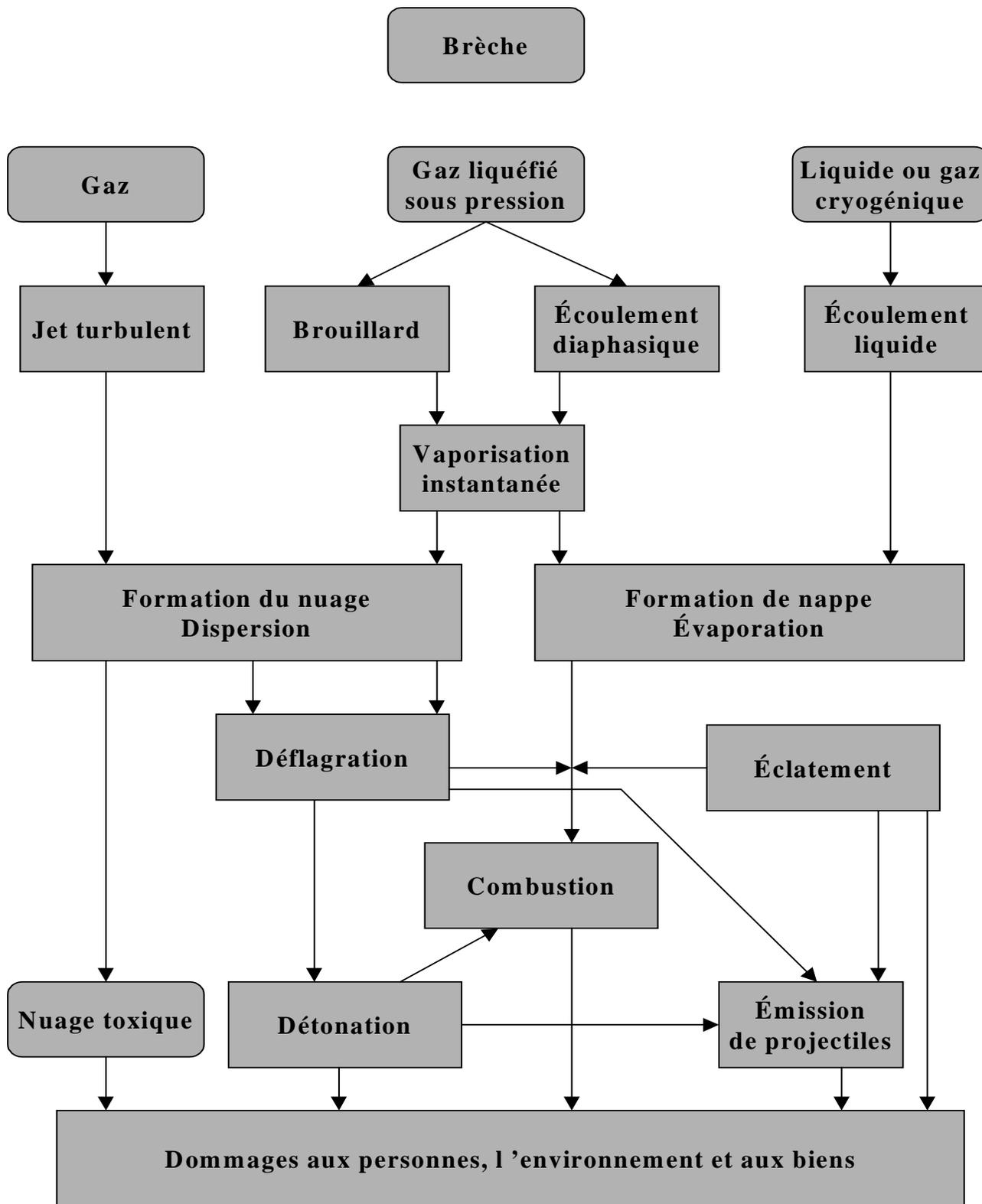
L'estimation des conséquences met en vre deux types de modèles afin de lui donner son caractère quantitatif. Premièrement, un ensemble de modèles, dits modèles physiques ou " effect models ", est nécessaire pour estimer les conséquences purement physiques (et/ou chimiques) d'un risque et les dommages matériels qui peuvent en résulter.

L'application d'un deuxième ensemble de modèles, appelés modèles d'impact ou d'exposition-risque ("vulnerability models"), permet dans un deuxième temps de passer de l'exposition aux effets sur les humains<sup>45</sup>.

Les modèles physiques permettent de quantifier la vitesse de dispersion de gaz ou de liquides (provenant, par exemple, d'une canalisation ou d'un réservoir qui ont subi une rupture), notamment par l'emploi de l'équation de Bernoulli. Ces modèles servent également à prédire la formation d'aérosols, l'évaporation de substances volatiles, ce qui permet notamment de prévoir la concentration atmosphérique de substances dangereuses dans un nuage toxique. On se sert également de modèles physiques pour évaluer le flux thermique dans le cas d'un feu<sup>46</sup>.

La figure 7 présente la succession de modèles physiques nécessaires à la détermination de l'exposition dans le cas d'accidents de matières dangereuses inflammables ou toxiques. On y retrouve les différentes phases, telles la rupture, la dispersion et l'allumage qui ont normalement été reconnus lors de l'étape de l'identification des dangers. Il faut d'abord déterminer la nature de la brèche et sa taille, à moins de destruction totale. Par la suite, divers modèles d'écoulement sont utilisés afin de modéliser le débit à la brèche. Vient ensuite l'évaluation de la dispersion, sous forme de nuage atmosphérique ou de nappe liquide s'accompagnant d'une évaporation partielle. Enfin, s'il s'agit d'un produit inflammable, les phénomènes résultant de l'allumage doivent être modélisés, ce qui nécessite l'emploi de modèles de combustion, d'explosion ou d'émission de projectiles<sup>45</sup>.

**Figure 7** - Estimation des conséquences à l'aide d'un modèle physique  
(Adapté de Degrange, 1993)



En ce qui concerne l'emploi des modèles d'impact dans un contexte d'effets sur la santé, ce sont essentiellement des modèles exposition-risque et des modèles démographiques (densité et caractéristiques de la population affectée) qui sont employés. Ils permettent d'associer à un événement donné (incendie, explosion, rejet de substances dangereuses) les probabilités attendues d'effets immédiats ou différés au sein de la population<sup>45</sup>.

### **L'estimation des probabilités et des fréquences**

Les méthodes utilisables pour estimer les probabilités et les fréquences peuvent être de type inductif ou déductif. Elles pourront également être qualitatives (identification) ou quantitatives (estimation comme telle). Une méthode inductive consiste, à partir de défaillances identifiées, à rechercher les effets alors que la méthode déductive procède de manière inverse, c'est-à-dire en cherchant à identifier les causes possibles à partir des effets :

La démarche inductive permet en théorie de tout mettre en évidence (y compris les informations inutiles ou sans intérêt), mais elle est relativement lourde, ce qui la rend difficile à employer pour étudier des combinaisons d'événements. Quant à la démarche déductive, elle est généralement bien ciblée et ne génère que de l'information utile. Toutefois, si l'analyste a initialement oublié un élément, cet oubli est définitif, ne pouvant pas être pris en compte ailleurs. Parmi les méthodes utilisées pour le calcul des fréquences, l'arbre de défaillance et l'arbre d'événements sont les plus connues et les plus utilisées. Elles sont succinctement décrites dans les paragraphes qui suivent :

#### **Analyse par arbre de défaillance :** L'arbre de défaillance<sup>47</sup> ("fault tree")

est l'un des outils majeurs d'analyse du risque technologique, développé au début des années 1960 aux États-Unis. C'est une méthode déductive et arborescente permettant un traitement à la fois qualitatif et quantitatif. Elle est utilisée pour calculer la probabilité de défaillance d'un système en absence d'information sur un cas réel. Elle est donc applicable

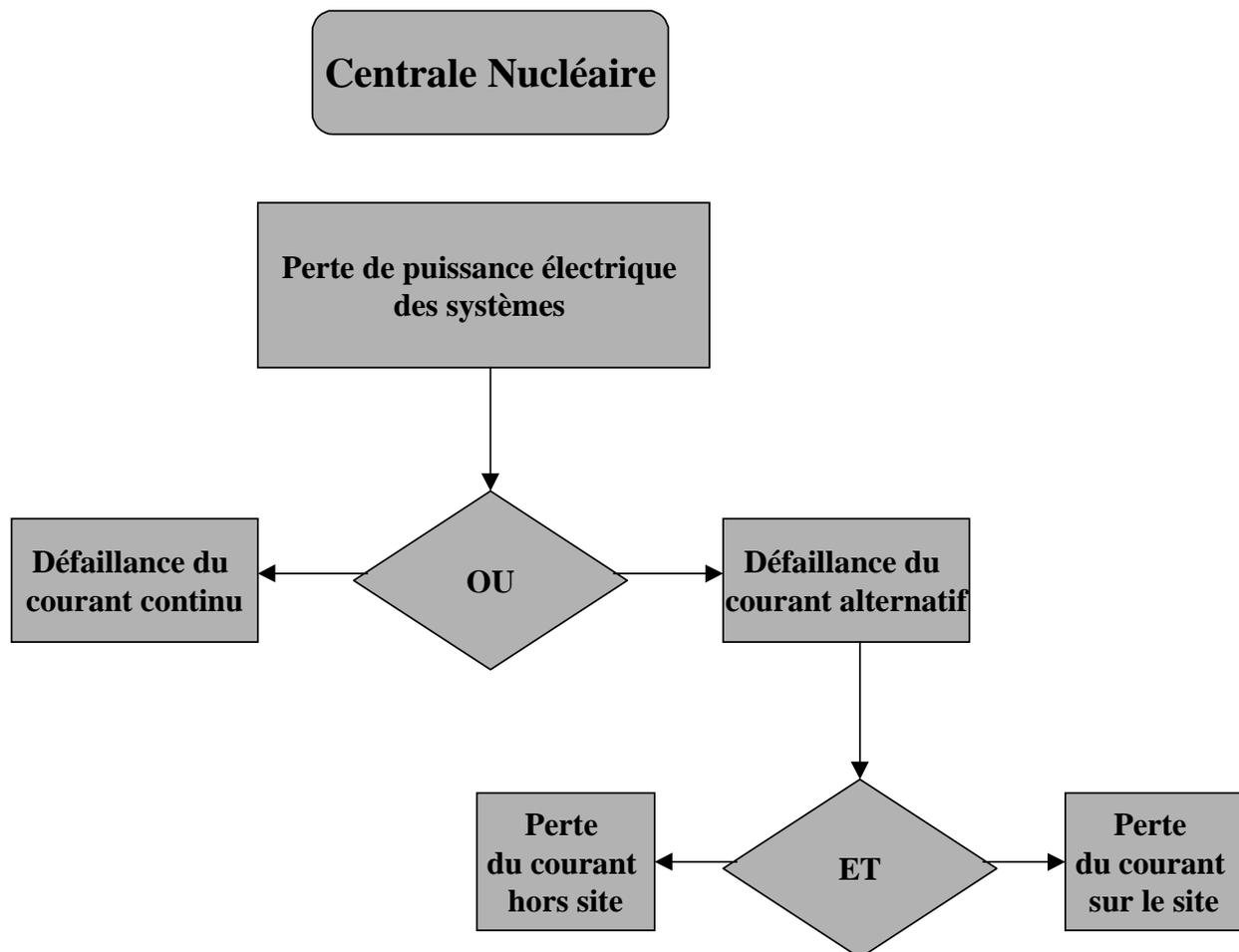
à des procédés technologiques dont les défaillances sont rares, dans le cas de nouveaux procédés et, par conséquent, elle est utilisable dans le cadre d'une évaluation environnementale préalable. L'utilisation de l'arbre de défaillance nécessite cependant une bonne connaissance du système étudié. Dans ce contexte, l'analyste peut s'appuyer sur une méthode d'identification des dangers comme l'AMDE qui lui aura donné la connaissance nécessaire du fonctionnement du système.

L'analyse par arbre de défaillance comporte deux étapes importantes: la construction et l'évaluation.

La construction repose sur la décomposition de l'événement indésirable (défaillance) en événements intermédiaires qui l'explicitent sous forme de causes immédiates. Ces dernières sont à leur tour décomposées en d'autres causes et ainsi de suite jusqu'à ce que toute nouvelle décomposition soit devenue impossible ou jugée inutile. La décomposition d'un événement en événement cause s'effectue par l'intermédiaire des opérateurs logiques, ET et OU, appelés "portes". Dans certains cas, l'arbre peut comporter de nombreuses ramifications comme le montre la figure 7.

Afin de bien comprendre le raisonnement typique qui gouverne l'emploi de cette méthode, la figure 8 présente un arbre de défaillance simplifié qui fait état de la perte de puissance électrique des systèmes de sécurité d'une centrale nucléaire. Ces systèmes nécessitent du courant alternatif (courant ca) pour fonctionner, mais les commutateurs de contrôle de ces systèmes sont actionnés par du courant continu (cc). Une défaillance des systèmes de sécurité peut donc être causée par une perte de courant alternatif ou continu; l'opérateur logique à utiliser est OU. Dans la figure 8, les événements intermédiaires découlant de la perte de courant continu n'ont pas été décomposés, mais l'exercice a été fait pour le courant alternatif. Dans ce dernier cas, l'opérateur logique ET a été utilisé parce que les systèmes de sécurité fonctionnent soit avec le courant fourni par le producteur d'électricité hors site ou, en cas de panne électrique, avec des génératrices au diesel, sur

le site, qui prennent la relève. Donc, s'il n'y a plus aucun courant électrique, c'est que les deux sources d'approvisionnement électriques doivent être simultanément défectueuses, donc l'emploi de l'opérateur logique ET.



**Figure 8** - Diagramme simplifié d'un arbre de défaillance

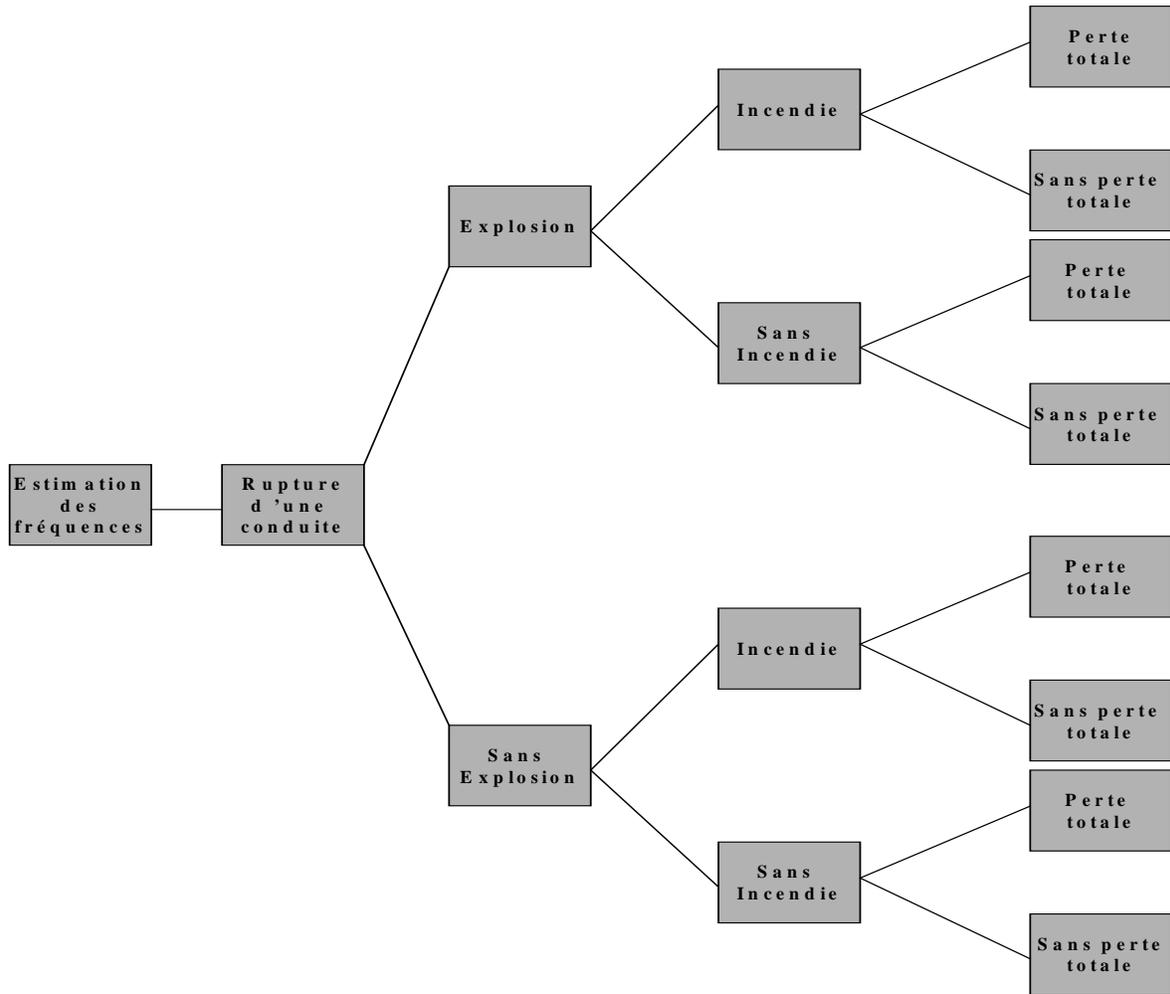
La décomposition peut se poursuivre ainsi jusqu'aux éléments les plus simples (de base) appelés les défaillances primaires, qui peuvent concerner des commutateurs, des solénoïdes, des microprocesseurs, etc. Lorsque les éléments de base sont identifiés, on procède à la deuxième étape, l'estimation. L'estimation finale, quant à la probabilité qu'un événement indésirable se produise, doit tenir compte de l'ensemble des probabilités et/ou fréquences de défaillance associées aux événements intermédiaires, chacun ayant sa fréquence de défaillance. La fréquence globale servira à estimer le risque associé à chaque accident potentiel.

**Analyse par arbre d'événements:** L'analyse par arbre d'événements ("event tree")<sup>48</sup> ressemble, à bien des égards, à celui d'un arbre de défaillances. Cependant, la logique utilisée est différente puisque le processus est inductif et non pas déductif. Dans un arbre d'événements, l'analyse repose donc sur la détermination des effets qu'une défaillance pourrait causer, plutôt que sur l'identification des défaillances à partir des effets. C'est donc le processus inverse de celui de l'arbre de défaillances; avec l'exemple simplifié de la figure 8, la défaillance pourrait être le non fonctionnement des génératrices électriques (courant sur le site) et l'analyste chercherait à en connaître les effets (en remontant vers le haut). Précisons qu'un arbre d'événements ne comporte pas de points de décisions nécessitant les opérateurs logiques OU et ET. L'arbre d'événement se compose d'événements potentiels découlant d'un événement de tête (initiateur). Des probabilités sont attribuées aux divers événements ("outcome").

La figure 9 montre l'aspect habituel d'un arbre d'événement. L'exemple choisi concerne la rupture d'une conduite de propane comme défaillance. À partir de cet événement dont la fréquence est connue, il s'agit de déterminer les effets, soit une séquence d'événements, ayant chacun leur propre probabilité. Les probabilités associées à chaque événement ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $1 - P_2$ , etc.) sont agrégées de manière à obtenir une fréquence globale pour chaque ramification (exprimée par année dans le cas de la figure 9). Ici, à partir de la défaillance identifiée, soit la rupture, on détermine d'abord s'il y aura une explosion. Si

non, on choisit la branche du haut (probabilité  $P_2$ ), si oui, la branche du bas (probabilité  $1-P_2$ ). En cas d'explosion, on s'interroge ensuite sur le risque d'incendie; si non, c'est la branche du haut ( $P_3$ ), si oui, la branche du bas ( $1-P_3$ ). La même question, relative à l'incendie, doit être posée en absence d'explosion; l'absence d'explosion et d'incendie se traduit par la probabilité  $P_4$  alors que l'absence d'explosion et la présence d'incendie par la probabilité  $1-P_4$ . Le même exercice est fait avec les probabilités liées à une perte totale.

**Figure 9** - Exemple d'arbre d'événements dans le cas de la rupture d'une conduite de propane



Fréquence des événements (an <sup>-1</sup> )	Conséquence des événements (en milles de \$)	Risque économique ( en milles de \$/an)
$2 \times 10^{-2}$	5	100
$3 \times 10^{-3}$	50	150
$2 \times 10^{-2}$	10	200
$8 \times 10^{-3}$	200	1600
$2 \times 10^{-3}$	10	20
$3 \times 10^{-3}$	200	600
0	0	0
$5 \times 10^{-2}$	1000	50 000
<b>total : <math>1,1 \times 10^{-2}</math></b>		<b>52 670</b>

Tel que mentionné plus haut, l'agrégation des probabilités (fréquences) de chacune des branches de l'arbre est réalisée en dernier lieu. La figure 9 montre des probabilités similaires pour l'ensemble des situations, mais les conséquences sont bien différentes, compte tenu de la nature des dangers (incendie, explosion, perte totale). Ainsi, la rupture suivie d'un incendie, d'une explosion et d'une perte totale se traduit par une conséquence économique évaluée à un million \$, alors qu'une rupture sans explosion, ni incendie ou perte totale entraînera une perte (conséquence) de 5 000 \$. Au lieu des conséquences économiques, on pourrait évidemment mettre en évidence des conséquences pour la santé, la sécurité ou l'environnement.

Les arbres de défaillances et d'événements sont intéressants et utiles, mais ils comportent certaines limitations. Ainsi, il est difficile de tenir compte de l'élément humain, notamment des décisions irrationnelles pouvant être causées par une situation de stress ou, au contraire, découlant d'une solution imaginative qui ne peut pas être prévue initialement. De plus, on a tendance à simplifier l'ensemble des événements lors de la préparation de ces arbres; il peut exister des centaines de petits événements ou de petites défaillances imprévisibles dont les analystes ne tiennent pas compte. Les analystes adoptent habituellement une approche conservatrice (c'est-à-dire pessimiste) qui exclut les solutions humaines imaginatives. Pour ces raisons, il n'est pas toujours évident qu'une information utile ou précise sera obtenue par un arbre de défaillance ou d'événements. On jugera

plutôt que des arbres sont utiles pour identifier les défaillances potentielles et les corriger avant le fait, plutôt que de s'en servir comme outil prédictif de calcul des fréquences associées aux dangers.

## **Conclusion**

Les accidents technologiques tels que des incendies, des explosions ou des rejets de substances chimiques dangereuses peuvent occasionner, dans certaines situations, des impacts importants sur la santé et la sécurité des travailleurs et de la population en général. Il est donc crucial de prendre des mesures permettant de prévenir ces événements à la source ou de diminuer leurs effets.

L'analyse de risque technologique est un outil important pour procéder à une telle démarche. La notion de risque technologique renvoie à deux concepts, celui de danger et celui de probabilité. Dans le cas de nouveaux projets, il est possible d'éviter certains dangers à l'étape de la conception et de gérer le risque occasionné par ceux qui subsistent par différentes mesures tels que les dispositifs de sécurité par exemple.

La procédure d'évaluation environnementale est une occasion privilégiée pour identifier les dangers et, si nécessaire, pour estimer les conséquences, les probabilités et les fréquences des événements indésirables, évaluer le risque et proposer des mesures d'atténuation.

Au Canada, de nombreux organismes sont préoccupés par la maîtrise du risque technologique. Au Québec, pour certains types de projets, le promoteur doit désormais réaliser ou faire réaliser une analyse des risques d'accident technologique. Dans la plupart des cas, ces documents vont se limiter à l'identification des dangers mais ils peuvent, dans certains cas, traiter des étapes ultérieures.

L'intervenant non expert, comme le praticien en santé publique, devrait en général pouvoir analyser et évaluer des études basées sur des méthodes qualitatives comme une revue de la littérature ou une analyse des banques de données portant sur les accidents industriels.

Néanmoins, la tâche peut être plus complexe quand le praticien est confronté à des approches quantitatives plus spécialisées telles que les estimations de conséquences qui prennent en compte de nombreuses variables et qui doivent être considérées avec précaution. Le présent document vise à préciser les grandes lignes de ces méthodes désormais courantes. Dans le cas d'un projet en particulier, le praticien pourra, si nécessaire, demander des précisions au promoteur et à ses consultants ou même consulter d'autres experts spécialisés dans ce domaine avant de formuler un avis.

## Références

Hohenemser, C., Kates, R.W., and Slovic, P., (1983), The Nature of Technological Hazard, *Science*, 22 avril 1983, 220, pp. 378-84.

Guerrier, Philippe et al. (1996), Le chlore et les urgences en santé publique, *Bulletin d'information en santé environnementale*, volume 7, n°3, Beauport (Québec), mai-juin 1996.

<sup>3</sup> Smith, Keith, (1992), *Environmental Hazards : Assessing Risk and Reducing Disaster*, Routledge, New York, p. 272.

<sup>4</sup>En anglais, technological risk.

Smith, Keith, (1992), *Environmental Hazards : Assessing Risk and Reducing Disaster*, Routledge, New York, p. 271.

<sup>5</sup> Lagadec, Patrick, (1991), *La gestion des crises, outils de réflexion à l'usage des décideurs*, McGraw-Hill, Paris, p.23.

<sup>6</sup> Lagadec, Patrick, (1985), *Défaillances technologiques et Situations de crise. La catastrophe de San Juan Ixhuatepec, Mexico, 19 novembre 1984*, Laboratoire d'économétrie de l'...cole polytechnique, Paris.

Pietersen, S., Huerta, C.M., (1985), *Analysis of the LPG-Disaster in Mexico City*, Department of Industrial Safety, TNO, The Netherlands.

<sup>7</sup> Smith, Keith, (1992), *Environmental Hazards : Assessing Risk and Reducing Disaster*, Routledge, New York, p. 279.

<sup>8</sup> De Moulins, Philippe, (1988), *Les accidents technologiques - Les données de l'expérience - analyse et recommandations*, Centre national de Prévention et de Protection - Association Française de Normalisation, p.21.

<sup>9</sup> Smith, Keith, (1992), *Environmental Hazards : Assessing Risk and Reducing Disaster*, Routledge, New York, p. 280.

<sup>10</sup> Lagadec, P., (1988), *...tats d'urgence, Défaillances technologiques et déstabilisation sociale*, Seuil, Paris, p.8.,p.59., pp 113-125. Shrivastava, P., (1987), *Bhopal : Anatomy of a Crisis*, Cambridge (Mass.), Ballinger Publishing Co.

---

<sup>11</sup> Baram, M.S., (1987), Chemical Industry Hazards : liability, insurance and the role of risk analysis in : Kleindorfer, P.R., Kunreuther, H.C. (eds), Insuring and Managing Hazardous Risks : From Seveso to Bhopal and beyond, Springer-Verlag, New York.

<sup>12</sup> Environnement Canada, (1986), Service de protection de l'environnement, ...tude des répercussions de Bhopal : évaluation de la situation canadienne, Ottawa, Ontario.

<sup>13</sup> Comité de coordination des accidents industriels majeurs / Major Industrial Accidents Co-ordinating Committee, (1993), à propos de MIACC / About MIACC, Ottawa, Ontario.

<sup>14</sup> Lajoie, Pierre, (1990), Désastres naturels et accidents technologiques, Mieux vivre avec son environnement, DSC, Hôpital de l'Enfant-Jésus, pp. 328-335.

<sup>15</sup> Graham-Bryce, Ian, (1990), Environmental Impact, in : Murray, Virginia (ed.), Major Chemical Disasters - Medical Aspects of Management, International Congress and Symposium Series, Royal Society of Medicine Services Ltd, London, UK, pp. 41-47.

<sup>16</sup> Guerrier, Philippe et al. (1996), Le chlore et les urgences en santé publique, Bulletin d'information en santé environnementale, volume 7, n°3, Beauport (Québec), mai-juin 1996.

<sup>17</sup> Une catastrophe est définie comme : une grave interruption du fonctionnement d'une société, engendrant de larges pertes humaines, matérielles ou environnementales que la société affectée ne peut surmonter avec ses seules ressources propres. Les catastrophes sont souvent classées selon leur origine (naturelle ou anthropique). Source : Nations-Unies, Département des affaires humanitaires, DHA-Geneva, (1992), Glossaire international multilingue agréé de termes relatifs à la gestion des catastrophes, p.3.

En anglais, le terme catastrophe est traduit par disaster. Disaster : Social disruption and changes brought by the physical agent and its impact. Source : Quarantelli, E.L. (ed.), (1978), Disasters, Theory and Research, SAGE 13, SAGE Publications Inc., Beverly Hills, Ca, p.3.

Disaster : An event, concentrated in time and space, in which a society (or a community) undergoes severe danger and incurs such losses to its members and physical appurtenances that the social structure is disrupted and the fulfilment of all or some of the essential functions of the society are disrupted.

Fritz, Charles E., "Disasters" in : Merton, Robert, Nisbet, Robert (eds.), (1961), Social Problems, Harcourt, Brace and World, New-York, pp.651-694.

<sup>18</sup> Denis, Hélène, (1993), Gérer les catastrophes, L'incertitude à apprivoiser, Les Presses de l'Université de Montréal, p.2.

<sup>19</sup> ...Événement : matérialisation d'un risque.

OCDE, (1992), Accidents chimiques : principes directeurs pour la prévention, la préparation et l'intervention, monographie sur l'environnement No 51, Paris, p. 90.

<sup>20</sup> Thompson, James, (1990), Psychological Impact in : Murray, Virginia (ed.), Major Chemical Disasters - Medical Aspects of Management, International Congress and Symposium Series, Royal Society of Medicine Services Ltd, London, UK, pp. 197-202.

<sup>21</sup> Lagadec, P., (1988), ...tats d'urgence, Défaillances technologiques et déstabilisation sociale, Seuil, Paris, p 9.

<sup>22</sup> Doré, Michel C., La planification d'urgence en industrie à l'aube des années 2000, Travail et santé, vol.9., n°1, Québec, p.32.

<sup>23</sup> Cassidy, K., (1990), National and International Legislation on Major Legislation on Major Chemical Hazards in : Murray, Virginia (ed.), Major Chemical Disasters - Medical Aspects of Management, International Congress and Symposium Series, Royal Society of Medicine Services Ltd, London, UK, pp. 23-24.

<sup>24</sup> En anglais : Technological Risk Assessment.

Ricci, Paolo F., Crouch, Edmund C., Cirillo, Mario C., (1985), Technological Risk Assessment : Measures and Methods in : Ricci, Paolo F. (ed.), Principles of Health Risk Assessment, Prentice-Hall, N.J., pp.373-407.

<sup>25</sup> Risk : a measure of the probability and severity of an adverse effect to health, property or the environment.

Association canadienne de Normalisation - Canadian Standards Association, (1991), Risk Analysis Requirements and Guidelines, CAN/CSA-Q634-91, Rexdale, Ontario, p.12.

Version française :

Association canadienne de Normalisation - Canadian Standards Association, (1993), Exigences et guide pour l'analyse des risques, Q634-F-91, Rexdale, Ontario.

<sup>26</sup> André Marsan et Associés Inc., (1984), Analyse de risque pour la santé et la sécurité publique, exposé sommaire des principes et des méthodes, Montréal, Québec.

<sup>27</sup> Dr Gaétan Carrier, Université de Montréal, communication personnelle, mai 1998.

<sup>28</sup> Dynes, R.R., (1970), Organized Behavior in Disaster, Lexington, Mass., D.C. Health, cité dans Denis, Hélène, (1993), Gérer les catastrophes, l'incertitude à apprivoiser, Les Presses de l'Université de Montréal, p.11.

---

<sup>29</sup> Burton, Ian, Kates, Robert W., White, Gilbert F., (1978), *The Environment as Hazard*, Oxford University Press, New York, pp. 22-23.

<sup>30</sup> Lavergne, Serge, (1993), *Conférence sur l'analyse de risque technologique*, Comité de santé environnementale, Beauport, Québec.

<sup>31</sup> OCDE, (1989), *Accidents chimiques. Principes directeurs pour la prévention, la préparation et l'intervention*, Paris, p. 89.  
En Grande Bretagne, le IChemE définit le terme "hazard" comme "A physical situation with potential for human injury, damage to property, damage to the environment or some combination of these."  
Source : HSE, (1989), *Risk Criteria for Land-Use Planning in the Vicinity of Major Industrial Hazards*, London, UK, page 30.

<sup>32</sup> Concord Environmental, (1992), *Risk Assessment and Risk Management for a Gas Turbine Cogeneration Plant*, Final Report, Downsview, Ontario, p. 2-3.  
Termes utilisés en langue anglaise :  
Analyse des dangers = Hazard Identification  
Analyse des conséquences = Consequence Assessment  
Analyse des probabilités = Frequency Assessment  
Quantification des risques = Risk Quantification  
...Évaluation des risques = Risk Assessment  
Gestion du risques - mesures d'atténuation = Risk Management - mitigation measures.

<sup>33</sup> Analyse des dangers : identification des différents dangers d'un système donné, détermination des mécanismes par lesquels ces dangers pourraient entraîner des événements indésirables et évaluation de la conséquence de ces événements.  
OCDE, (1992), *Accidents chimiques : principes directeurs pour la prévention, la préparation et l'intervention*, monographie sur l'environnement No 51, 1992, p.89.

<sup>34</sup> Probabilité : chance qu'un événement donné se produise.  
OCDE, (1992), *Accidents chimiques : principes directeurs pour la prévention, la préparation et l'intervention*, monographie sur l'environnement No 51, Paris, p. 91.

<sup>35</sup> Leroy, A. et J.-P. Signoret, (1992), *Le risque technologique*. Collection "que sais-je", numéro 2669, Presses Universitaires de France, 127 p.

<sup>36</sup> ...tude sur les risques et l'exploitabilité (HAZOP) : méthode d'analyse des dangers qui vise à identifier les dangers possibles et consiste à indiquer sur les dessins industriels et

---

les dessins d'appareils, au moyen de termes prédéterminés, toute déviation par rapport à la conception prévue qui risque d'avoir des effets indésirables en matière de sécurité ou d'exploitabilité.

OCDE, (1992), Accidents chimiques : principes directeurs pour la prévention, la préparation et l'intervention, monographie sur l'environnement No 51, Paris, p. 90.

<sup>37</sup> Ministère de l'Environnement, Direction de la prévention des pollutions et des risques, Service de l'Environnement industriel, BARPI, (1992), Analyse des risques et Pollutions industrielles, France, p. 25.

<sup>38</sup> Chaugny, Michel,(1993), L'approche française en matière de retour d'expérience

et ses apports à la politique de prévention des accidents industriels, Conseil canadien des accidents industriels majeurs, Une approche pratique aux accidents mettant en cause des substances dangereuses, Compte-rendu de la conférence, Saint-John, Nouveau Brunswick, Canada, Ottawa, p. 89.

<sup>39</sup> Technica, Ltd, (1988), Techniques for assessing industrial hazards, World Bank technical paper number 55, the World Bank, Washington, D.C., U.S.A., p.3.

<sup>40</sup> Technica, Ltd, (1988), Techniques for assessing industrial hazards, World Bank technical paper number 55, the World Bank, Washington, D.C., U.S.A., p.3.

<sup>41</sup> Théberge, M-C, (1998), Direction de l'évaluation environnementale des projets industriels et en milieu hydrique, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Québec (communication personnelle).

<sup>42</sup> Technica, Ltd, (1988), Techniques for Assessing Industrial Hazards, a Manual, World Bank Technical Paper N°55, The World Bank, Washington, D.C.

<sup>43</sup> Pitblado R. et Turney R (1996) Risk assessment in the process industries. Institution of Chemical Engineers, United Kingdom, second edition.

<sup>44</sup> MEF (1998) Guide de réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de l'évaluation environnementale des projets industriels et en milieu hydrique, 38p.

<sup>45</sup> Degrange, J.-P. (1993) identification et évaluation des dangers en vue de répondre aux accidents technologiques: introduction à la démarche. Sécurité, sciences et techniques, no. 2 (mars), 3-10.

<sup>46</sup> Pitblado R. et Turney R (1996) Risk assessment in the process industries. Institution of Chemical Engineers, United Kingdom, second edition.

<sup>47</sup> Analyse par arbre de défaillance: méthode d'analyse des dangers qui fait appel à la description par déduction des événements conduisant à la défaillance de composants à une situation dangereuse.

OCDE, (1992), Accidents chimiques: principes directeurs pour la prévention, la réparation et l'intervention, monographie sur l'environnement No 51, Paris, p.89.

<sup>48</sup> Analyse par arbre d'événements: méthode d'analyse des dangers qui fait appel à la détermination par induction des mécanismes de perturbation ayant entraîné une situation dangereuse.