

LA GESTION DU RISQUE – UN DOMAINE DE CONNAISSANCE NÉCESSAIRE POUR TOUS LES INGÉNIEURS

Document de réflexion de :
Paul R. Amyotte, P.Eng.¹ et Douglas J. McCutcheon, P.Eng.²

¹Chemical Engineering Program
Department of Process Engineering & Applied Science
Dalhousie University
Halifax (Nouvelle-Écosse) Canada B3J 2X4
<paul.amyotte@dal.ca>

²Industrial Safety & Loss Management Program
Faculty of Engineering
University of Alberta
Edmonton (Alberta) Canada T6G 2G6
<doug.mccutcheon@ualberta.ca>

Préparé pour :
Le Comité de recherche du Conseil canadien des ingénieurs

Octobre 2006



RÉSUMÉ

Le but du présent document est de « faire germer » la discussion, au sein du Comité de recherche du Conseil canadien des ingénieurs (CCI), sur la gestion du risque. Ce document est en partie une étude de recherche et, dans son ensemble, un document de position. Comme son titre le suggère, les auteurs croient fermement que la gestion du risque est un domaine que tous les ingénieurs devraient connaître et pour lequel ils devraient posséder un niveau de compétences selon l'étendue de leur pratique.

Tout d'abord, le document établit la distinction entre *danger* et *risque*. Les deux termes sont souvent utilisés de façon interchangeable alors qu'en fait, ils sont très différents. D'une part, un danger est une condition chimique ou physique qui a la possibilité de faire du mal ou du dommage aux gens, à l'environnement, aux biens ou à la production. D'autre part, le risque correspond à la possibilité ou la chance qu'un mal découle d'un danger, le risque est une fonction de la *probabilité* et de la *gravité* des conséquences.

Nous présentons ensuite une description du processus de gestion du risque. Un cadre générique pour la gestion du risque illustre les activités essentielles de l'identification du danger et de l'analyse, de l'évaluation et de la gestion des risques. Les activités clés dans ce cadre sont les décisions qui doivent être prises sur le caractère acceptable du risque —soit de continuer une activité et de surveiller le risque, soit de mettre en oeuvre des mesures d'atténuation du risque et d'effectuer ensuite une nouvelle évaluation; ou encore de cesser l'activité parce que le risque est inacceptable et qu'il ne peut pas être atténué de façon rentable.

Nous analysons ensuite la première de deux principales questions auxquelles le document tente de répondre : *Pourquoi la gestion du risque pour les ingénieurs?* La discussion pour étayer la notion que la connaissance de la gestion du risque est importante pour les ingénieurs est présentée en fonction de trois volets : le volet moral/éthique, le volet légal et le volet financier. Une brève étude s'intéresse ensuite aux besoins en matière de formation sur la gestion du risque au sein des écoles d'ingénierie au Canada, ainsi qu'aux activités des membres constituants du CCI et de certaines sociétés techniques (propres à la discipline) au Canada en ce qui a trait aux activités et services de gestion du risque.

Nous nous penchons ensuite sur une deuxième question : *Pourquoi la gestion du risque pour tous les ingénieurs?* Le but visé dans cette section est de réfuter la notion que la gestion du risque est importante seulement pour les ingénieurs qui travaillent dans des industries « à risque élevé » ou pour les ingénieurs qui travaillent avec des substances « dangereuses ». L'équipe moderne d'ingénierie est examinée du point de vue de sa nature pluridisciplinaire qui exige de porter une attention spéciale à la *communication du risque*. Plusieurs initiatives internationales de formation en gestion du risque et d'élaboration de pratiques sont présentées pour démontrer que d'autres pays ne font pas la distinction entre les regroupements artificiels d'ingénieurs qui peuvent ou ne peuvent pas avoir besoin de connaissances dans le domaine de la gestion du risque. Pour étayer davantage ce point, nous présentons brièvement plusieurs études de cas de différentes origines. Le cas de l'explosion de la mine de charbon Westray qui s'est produite en mai 1992 en Nouvelle-Écosse est présenté comme étude de cas pour démontrer que tous les ingénieurs

peuvent tirer des leçons importantes de ce désastre, et pas uniquement les ingénieurs s'intéressant à l'exploitation du charbon.

La dernière section offre plusieurs suggestions sous forme de recommandations pour faire avancer l'état actuel des études, de la formation et des pratiques en matière de gestion des risques qui sont exercées par les ingénieurs au Canada. Ces recommandations sont présentées pour évaluation par le Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie, le Bureau canadien des conditions d'admission en génie, le CCI, les membres constituants du CCI, le Conseil canadien des doyens d'ingénierie et des sciences appliquées, les sociétés techniques de génie au Canada et le Comité de recherche du CCI.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	2
TABLE DES MATIÈRES	4
INTRODUCTION	5
DANGER ET RISQUE	5
LE PROCESSUS DE GESTION DU RISQUE	7
POURQUOI LA GESTION DU RISQUE POUR LES INGÉNIEURS?	12
Questions morales/éthiques	13
Exigences légales	15
Motivation financière	17
Besoins en matière d'éducation	18
Activités des membres constituants du CCI	22
Initiatives des sociétés techniques	23
POURQUOI LA GESTION DU RISQUE POUR <i>TOUS</i> LES INGÉNIEURS?	25
L'équipe d'ingénierie	25
Études de cas	30
Westray	32
RECOMMANDATIONS À L'INTENTION DE LA PROFESSION D'INGÉNIEUR AU CANADA	37
MOTS DE LA FIN	38
RÉFÉRENCES	39

INTRODUCTION

Ce document a été rédigé pour faciliter la discussion du Comité de recherche du CCI sur la gestion du risque. Le document présente la thèse que tous les ingénieurs doivent connaître le domaine de la gestion du risque. Le niveau de connaissances, ou la profondeur des connaissances, dépend de la discipline précise en ingénierie et de la nature du champ d'exercice. Toutefois, les auteurs sont d'avis que la sensibilisation au processus de gestion du risque, et un certain niveau de compétence dans son application, sont essentiels pour tous les ingénieurs.

L'évaluation et la gestion du risque sont des composantes essentielles des activités routinières des êtres humains. Qu'il s'agisse de choisir un mode de transport ou de décider de ce que nous allons manger, nous distinguons les préoccupations éventuelles, nous évaluons les conséquences et nous discutons de la probabilité d'une mésaventure. Nous devons ensuite prendre une décision au sujet du « meilleur » plan d'action et des étapes à adopter pour prévenir un résultat indésirable tout en nous assurant de passer un agréable voyage ou de manger un bon repas. Toutes ces activités de gestion du risque peuvent se produire en un rien de temps ou être plus délibérées.

Le travail d'ingénierie exige aussi l'évaluation et la gestion du risque. Il faut identifier les dangers et analyser les conséquences et les probabilités. Il est nécessaire de prendre des décisions de gestion pour déterminer si le risque est acceptable; s'il l'est, l'activité se continue à l'aide de mesures d'atténuation du risque et de surveillance; si le risque est inacceptable, l'activité ne doit pas être entreprise. Simplement, l'exercice de l'ingénierie comprend en soi un niveau inhérent de risque que les ingénieurs doivent chercher à comprendre et à gérer.

Le reste du document tente de justifier l'opinion des auteurs voulant que la gestion du risque soit un domaine de connaissance nécessaire pour tous les ingénieurs. Nous ne sommes pas seuls à penser de cette façon; pratiquement tous les collègues professionnels que nous connaissons personnellement sont d'accord avec cette thèse. Ils pourraient tous présenter des anecdotes convaincantes sur le besoin de sensibilisation et de compétence en matière de gestion du risque de la part des ingénieurs. Toutefois, nous reconnaissons que la preuve peut provenir non seulement d'exemples précis, mais aussi de différents intervenants qui motivent et définissent l'exercice du génie au Canada : les praticiens eux-mêmes, les autorités de réglementation, les législateurs, les éducateurs, les concurrents internationaux et le grand public. Cet élément constitue le point central des sections subséquentes du présent document, jumelé à une série de recommandations à l'intention du Comité de recherche du CCI. Tout d'abord, il est nécessaire de faire une nette distinction entre les mots *danger* et *risque*; nous la présentons dans la prochaine section. Cette distinction est ensuite suivie d'une courte explication du processus de gestion du risque.

DANGER ET RISQUE

Les termes *danger* et *risque* sont souvent utilisés de façon interchangeable. Il ne faudrait pas les mêler de cette façon parce que le danger et le risque ne sont pas la même chose. Les définitions fonctionnelles (Wilson et McCutcheon, 2003) de *danger* et de *risque* sont les suivantes :

Danger : possibilité qu'a une machine, un équipement, un processus ou un facteur matériel ou physique dans l'environnement de travail de causer du mal aux gens, à l'environnement, aux biens ou à la production.

Risque : possibilité de blessure, de perte ou de dommages environnementaux créés par un danger. L'importance du risque est une fonction de la *probabilité* d'un incident non désiré et de la *gravité* de sa conséquence.

Plusieurs caractéristiques de ces définitions méritent d'être soulignées :

- Le risque provient des dangers. L'identification exhaustive des dangers est la clé de la gestion efficace du risque; il est impossible de gérer le risque découlant d'un danger qui n'a pas été identifié.
- Le mal ou le dommage peut se produire dans quatre grands domaines – les gens, l'environnement, les biens (équipement, propriété, etc.) et la production (ou le procédé, c.-à-d., interruption des affaires). La reconnaissance de ces catégories distinctes mène à une approche intégrée de la gestion du risque qui englobe toutes les pertes possibles. La gestion intégrée du risque comporte aussi la gestion d'une variété d'activités d'ingénierie et de dangers possibles.
- Le risque comprend deux aspects – la probabilité et la gravité. En anglais, les termes *likelihood* ou *frequency* sont occasionnellement utilisés plutôt que *probabilité*. Bien qu'il y ait quelques différences subtiles dans le sens de ces mots, surtout entre *frequency* et *probability*, les différences ne sont pas essentielles pour la discussion présentée dans le présent document.

Donc, un danger est une source potentielle de perte; le risque est la possibilité d'expérimenter en réalité une perte d'un certain niveau de gravité par le fait d'entrer en contact avec un danger. Pensez à un exemple de la vie de tous les jours. La glace sur une autoroute est un danger parce qu'elle constitue une condition physique qui a la possibilité de causer du mal ou des dommages. Le risque de ce danger est une fonction de la probabilité de passer sur la glace en conduisant sur l'autoroute ainsi que de la gravité des conséquences de conduire sur une section glacée. Si une personne conduit à la vitesse normale prévue pour l'autoroute au cours d'une tempête d'hiver le soir, le risque de la glace dangereuse sur la route serait probablement jugé élevé. (La probabilité est élevée et les conséquences sont potentiellement assez graves). Attendre la fin de la tempête et que les charrettes aient fini de verser du sel ou du sable, ainsi que réduire sa vitesse et faire le voyage de jour, diminuent tant la probabilité que la gravité des conséquences. Donc, dans ce cas-ci, le risque serait jugé plus faible que dans le scénario précédent à risque élevé.

Il est aussi important de faire la distinction entre le risque financier pur et ce que l'on pourrait mieux définir comme risque technique ou d'ingénierie. Dans le premier cas, pour les gens qui ont de l'expérience dans le domaine des affaires ou du commerce, la gestion du risque correspond habituellement à la gestion prudente des ressources afin d'éviter les pertes financières inacceptables. Dans le cas du risque technique ou d'ingénierie (l'objet du présent document), la gestion du risque est interprétée comme étant le processus d'analyse de l'exposition à la perte et de prise de mesures adéquates pour éliminer le risque ou le réduire à des niveaux acceptables (Alp, 2000). Dans cette définition, la clé est le concept mentionné plus haut d'une approche

intégrée pour réduire l'exposition à la perte; c'est-à-dire la reconnaissance que la perte peut se produire dans un certain nombre de domaines (gens, environnement, biens et production). Grâce à cette approche de la gestion du risque, les ingénieurs se concentrent sur les dangers pertinents à leur travail (par exemple, produits chimiques, rayonnement thermique, forces mécaniques, électricité, etc.) et analysent le risque à partir des dangers au sujet des blessures, des dommages environnementaux, de la destruction de la propriété et de l'interruption des affaires (tous ces facteurs comprennent habituellement une perte financière).

En dépit de la discussion présentée au paragraphe précédent, on s'attend à un certain niveau de connaissance sur la gestion du risque financier de la part des professionnels dans tous les domaines comme l'ingénierie, la médecine et le droit. Souvent, les questions préoccupantes sont la responsabilité en ce qui a trait à l'exercice professionnel (p.ex., IRMI, 2006) et la performance des grandes entreprises du point de vue commercial (p.ex., IRM, 2006). Donc, bien que l'accent du présent document soit placé sur le risque technique ou d'ingénierie, il est bien entendu que le risque financier est une caractéristique cruciale de tous les efforts globaux de gestion du risque.

LE PROCESSUS DE GESTION DU RISQUE

Une définition fonctionnelle (Wilson et McCutcheon, 2003) de la *gestion du risque* est présentée ci-après :

Gestion du risque : processus complet de la compréhension du risque, de l'évaluation du risque et du processus décisionnel pour assurer que des contrôles efficaces du risque sont en place et mis en œuvre. La gestion du risque commence par l'identification active des dangers possibles jusqu'à la gestion continue, jugée acceptable, de ce risque.

Le cycle d'analyse du risque, englobé dans cette définition de la gestion du risque, et dans celle fournie à la section précédente (Alp, 2000), est ce qui permet l'évaluation du risque, qui à son tour permet la gestion du risque (Bird et Germain, 1996). Essentiellement, les ingénieurs *analysent le risque* (pour établir la probabilité et les conséquences), afin de pouvoir *évaluer le risque* (en ce qui a trait à son caractère acceptable), afin de pouvoir en fin de compte *gérer le risque*. Comme nous l'avons expliqué précédemment, il n'est tout simplement pas possible de commencer ce cycle sans avoir tout d'abord identifié efficacement les dangers problématiques.

Ce processus de gestion du risque est illustré à la figure 1, qui représente la pratique exemplaire partout dans le monde, surtout pour les industries de matières dangereuses mais qui s'étend aussi aux autres industries. Chaque étape exige que différentes activités soient réalisées sous formes différentes. Il en découle un processus qui a été utilisé mondialement au cours des deux dernières décennies et qui est jugé être la meilleure pratique disponible à l'heure actuelle. Les différentes étapes présentées dans le cadre générique illustré à la figure 1 sont expliquées brièvement ci-dessous.

Examens planifiés

Il s'agit d'une fonction de gestion dans le cadre de laquelle des examens sont réalisés dans le but de fournir les données nécessaires pour surveiller les opérations ou développer de nouvelles

conceptions de projet. C'est essentiellement la base de données pour un système efficace de gestion de la sécurité et des pertes. Ce système comprend les enquêtes sur les incidents, les révisions des compagnies d'assurance, les activités réglementaires (inspections des appareils à pression, production de rapports environnementaux, besoins en matière de renouvellement des biens, changements législatifs, mise à jour des codes, etc.), en plus des données régulières collectées sur les opérations commerciales et les activités d'entretien. À cette étape, on vise à être proactif afin que le regroupement des données et les analyses des tendances jumelées aux analyses statistiques protègent une entreprise contre les problèmes.

Identification des dangers

Un des résultats des examens mandatés plus haut (à titre d'équipe de gestion et en tenant compte des activités de l'industrie en général grâce à des associations professionnelles et à l'actualité), est l'identification des dangers (ou « préoccupations »). L'équipe de gestion d'une compagnie reçoit les données et, selon le bon jugement de l'équipe, détermine ce qui doit se voir accorder une attention plus poussée par une analyse du risque. Une variété d'outils est disponible pour procéder à l'identification des dangers, par exemple, l'étude des dangers et de l'opérabilité (HAZOP), l'analyse par simulation, la liste de vérification, l'arbre de panne, etc.

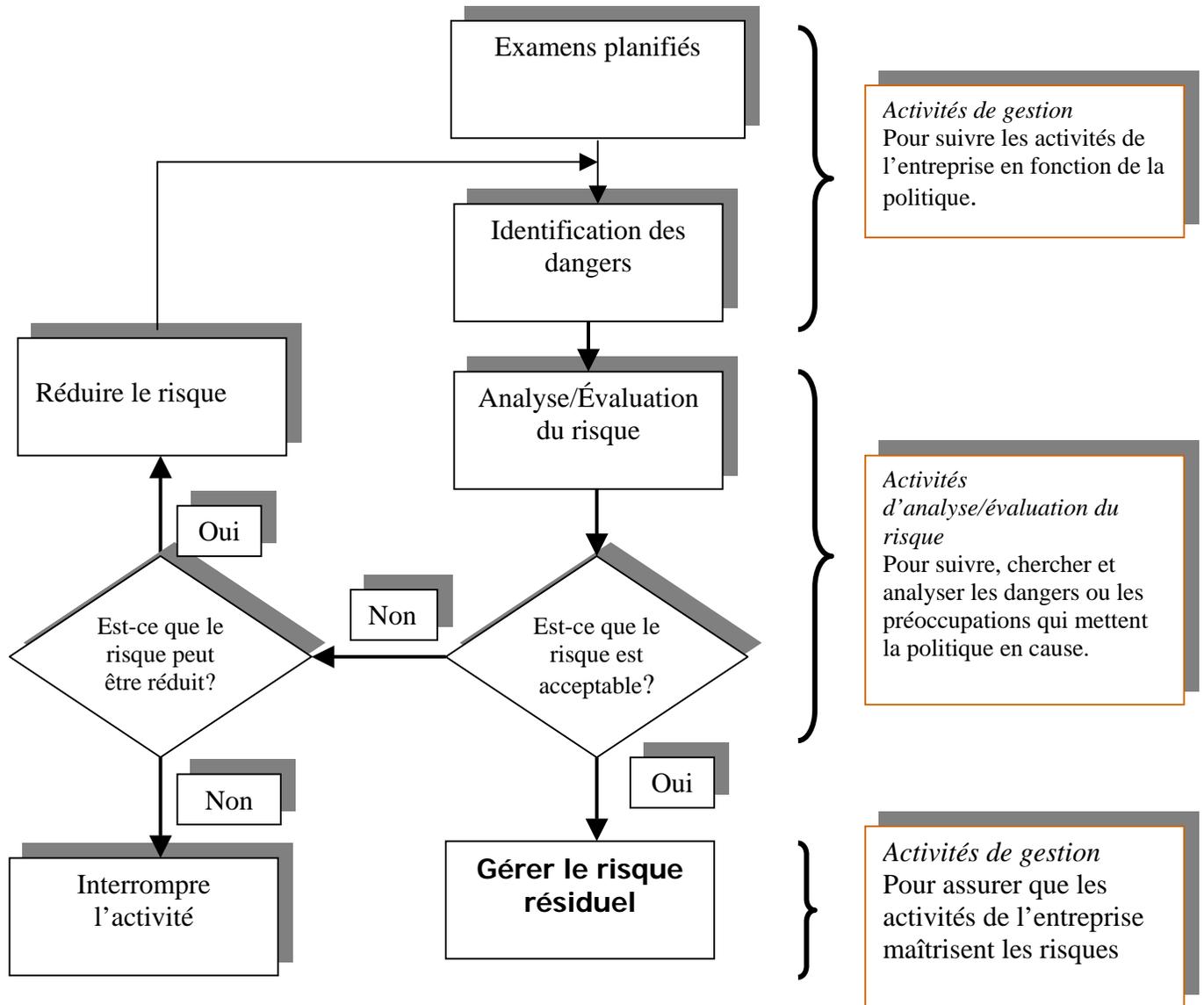


Figure 1 Processus de gestion du risque

Analyse/Évaluation du risque

De même, plusieurs outils sont disponibles pour appuyer l'analyse et l'évaluation du risque. L'analyse du risque exige de comprendre les composantes du risque – la probabilité et les conséquences. La probabilité a trait à la défaillance des systèmes, des êtres humains, de l'équipement, etc., et dans plusieurs cas, elle est facilement quantifiable. Certaines données sont disponibles génériquement, mais la plupart des données pertinentes se trouvent souvent dans les dossiers d'entretien d'une compagnie, dans les registres opérationnels et dans les rapports d'enquêtes sur les incidents.

Il existe aussi un certain nombre de méthodologies pour quantifier les conséquences de plusieurs dangers rencontrés dans l'exercice du génie, comme les incendies (rayonnement thermique et fumée), les explosions (surpressions de l'onde de souffle), la dispersion des nuages toxiques, l'exposition à des produits toxiques, la létalité, le bruit, la pollution de l'eau, etc. Lorsque la probabilité et la gravité des conséquences sont connues et le risque estimé, on procède à l'évaluation du risque pour déterminer s'il est acceptable ou non.

Est-ce que le risque est acceptable?

Plusieurs gestionnaires d'entreprises ont établi une matrice du risque qui décrit ce qu'est un risque faible (acceptable), un risque moyen (acceptable sous certaines conditions), et un risque élevé (inacceptable). Ce genre de matrice sert à clarifier, pour les employés, ce qu'ils doivent faire et ce qui est acceptable. Les faibles risques sont habituellement acceptables sans autre implication de la part de la gestion ni ajouts à la conception. En ce qui a trait aux risques moyens, la gestion doit être activement impliquée pour assurer que le risque est gardé sous contrôle. Il est important de noter que les responsabilités de la gestion viennent au premier rang parce qu'ils (les gestionnaires) assument la responsabilité d'accepter le risque.

Gérer le risque résiduel

Lorsqu'on détermine qu'un risque est acceptable, ce risque doit être géré. On peut affirmer que c'est l'étape la plus importante du processus parce que la responsabilité est maintenant prise pour assumer le risque et empêcher qu'un incident indésirable ne se produise. À cette étape, un outil clé d'ingénierie utilisé est un système de gestion adéquat pour que les risques soient gérés (par exemple, santé, sécurité au travail, sûreté du procédé, fiabilité de l'équipement, etc.). Les systèmes de gestion de la sécurité sont reconnus et acceptés mondialement comme méthodes exemplaires pour gérer le risque. Ils comprennent habituellement 10 à 20 éléments de programme (p. ex., gestion du changement) qui doivent être exécutés pour gérer les risques de façon acceptable. Lorsque le risque est accepté, il ne disparaît pas; il reste là, attendant la possibilité de se produire à moins que le système de gestion surveille activement les opérations de la compagnie pour y déceler des inquiétudes et prendre des mesures proactives pour corriger les problèmes éventuels.

Est-ce que le risque peut être atténué?

Souvent, lorsqu'on détermine que le niveau du risque est inacceptable, certaines méthodes s'offrent à nous pour le réduire. Le terme *sécurité inhérente* est utilisé pour supposer des méthodes qui élimineront ou réduiront le risque en s'attaquant aux dangers sous-jacents eux-mêmes (p. ex., par la substitution par un matériel moins dangereux; Khan et Amyotte, 2003). De

plus, d'autres contrôles, systèmes de gestion, caractéristiques de protection et autres mesures semblables peuvent être ajoutés pour faire baisser le risque à un niveau acceptable.

Réduire le risque

Si les mesures proposées pour réduire le risque sont viables, les changements nécessaires doivent alors être apportés à l'équipement, aux procédures, aux inventaires dangereux, etc. Il est important de noter que lorsque le changement est effectué, le cycle de gestion du risque est utilisé à nouveau pour évaluer les nouveaux dangers et risques possibles. Les changements dans les procédés d'ingénierie créent souvent des problèmes supplémentaires possibles qui peuvent, involontairement (et peut-être à leur insu), entraîner un risque opérationnel accru.

Interrompre l'activité

Une étape très importante est de reconnaître que le risque est trop élevé. La gestion doit être transparente à ce sujet et prendre les bonnes décisions. Les valeurs et les objectifs de la compagnie peuvent entrer en jeu à cette étape-ci – y compris les facteurs des profits perdus, des promotions personnelles, des échecs professionnels, etc. Abandonner une activité parce que le risque est inacceptable est une décision clé parce qu'elle confirme que l'entreprise ne fera pas une chose qui n'est pas sécuritaire, qui pollue l'environnement, qui endommage les biens, qui risque inutilement des possibilités d'affaires ou qui a une incidence sur la perception publique de l'entreprise de façon négative. De plus, les employés surveillent le rendement de leurs gestionnaires à cette étape-ci; le soutien des employés pour les décisions de la gestion sur l'acceptation du risque est essentiel.

Un exemple illustratif tiré de la vie de tous les jours (conduire dans une zone résidentielle) est présenté dans le tableau 1. Dans cette situation, l'analyse par simulation est utilisée pour distinguer les scénarios dangereux et les conséquences inquiétantes. Les scénarios de sauvegarde sont ensuite examinés et le risque est analysé pour déterminer la probabilité qu'il se produise et la gravité des conséquences est abordée par rapport à l'acceptabilité du risque. Cette évaluation peut être faite par un jugement expert dans ce simple cas ou dans un scénario plus complexe en utilisant le concept mentionné plus haut portant sur la matrice du risque. Si le risque est jugé inacceptable, alors la colonne des recommandations du tableau 1 fournirait des conseils sur les mesures possibles à adopter pour réduire le risque. Ces mesures de réduction du risque seraient mises en oeuvre et le cycle de gestion du risque (figure 1) serait répété pour assurer qu'aucun nouveau danger n'a été introduit et que le risque résiduel est efficacement géré. Si le risque était jugé inacceptable même par la mise en oeuvre de toutes les recommandations, alors l'activité serait interrompue jusqu'au moment (si jamais) où elle pourrait être réalisée avec un niveau acceptable de risque.

Tableau 1 Analyse par simulation de la conduite dans une zone résidentielle.

Hypothèse	Conséquences	Sauvegardes actuelles	Recommandations
Et si un piéton traversait subitement la rue devant votre auto?	<ul style="list-style-type: none"> • Vous pourriez heurter le piéton et causer des blessures. • Vous pourriez heurter un autre véhicule et causer des dommages. • Vous pourriez arrêter brusquement et causer des blessures dans votre véhicule. 	<ul style="list-style-type: none"> • Être attentif dans les zones résidentielles. • Toujours garder une distance sécuritaire des autres véhicules. • Porter la ceinture de sécurité en tout temps. 	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter de conduire dans les zones résidentielles sauf si c'est nécessaire. • Penser à installer des clôtures entre les routes et les zones où l'exposition aux piétons est probable – par exemple, les écoles ou les terrains de jeu. • Conduire lentement dans les zones résidentielles.

POURQUOI LA GESTION DU RISQUE POUR LES INGÉNIEURS?

La réponse à cette question comporte plusieurs facettes. Une partie de la réponse se trouve dans le processus de gestion du risque lui-même comme il est décrit dans la section précédente. Dans la présente section, les mots *gérer*, *gestionnaire* et *gestion* sont utilisés abondamment; et pour une bonne raison – c'est précisément ce que les ingénieurs font. Les ingénieurs *gèrent* des projets (petits ou gros), les risques que ces projets comportent et les personnes qui réalisent ces projets. D'une façon générale, un ingénieur est soit un gestionnaire, ou il travaille pour ou avec un gestionnaire. En outre, les ingénieurs qui occupent des postes de *gestion* ont des responsabilités différentes des travailleurs qu'ils emploient, relativement aux risques.

Les décisions d'affaires et d'ingénierie sont de plus en plus prises sur la base du risque. Il est donc nécessaire pour les ingénieurs de comprendre le processus de gestion du risque. Un ingénieur pourrait participer activement au processus lui-même de différentes façons – identification des dangers, analyse de la probabilité qu'il se produise et de la gravité des conséquences, analyse du degré de risque en relation avec la politique de la compagnie ou une norme mandatée de l'extérieur, ou mise en œuvre et surveillance des mesures de réduction du risque. Sinon, un ingénieur peut s'occuper d'un processus décisionnel en se basant sur l'analyse qualitative ou quantitative du risque effectuée par un conseiller de l'extérieur. Plus particulièrement, l'analyse quantitative du risque (AR) peut être hautement spécialisée et comporter des techniques mathématiques complexes et de simulation. Un certain niveau de connaissance des capacités, limites et hypothèses des méthodologies de l'AQR est crucial pour le processus décisionnel informé.

Le raisonnement présenté dans les deux paragraphes plus haut sert habituellement à convaincre certains membres d'un auditoire que la gestion du risque est en effet une composante importante de la base de connaissance d'un ingénieur. Mais ce raisonnement est rarement suffisant pour convaincre la majorité de l'auditoire. D'autres éléments d'étude sont nécessaires pour répondre plus complètement à la question : *Pourquoi la gestion du risque pour les ingénieurs?* Le reste de cette section tente de fournir ces éléments d'étude selon les points de vue suivants : questions morales/éthiques, exigences légales, motivation financière, besoins en matière d'éducation, activités des membres constituants du CCI et initiatives de la société technique.

Questions morales/éthiques

Pourquoi la gestion du risque pour les ingénieurs? Tout simplement parce que c'est la bonne chose à faire; non seulement c'est la bonne chose à faire – c'est la chose professionnelle à faire. En notre capacité d'ingénieurs, nous sommes souvent appelés à juger primordiale notre fonction de prévoyance sociale (p. ex., APENS, 1989). Nos projets, produits et conceptions doivent être développés avec l'objectif premier de conserver le bien-être du public. Ceci ne veut pas dire que les activités d'ingénierie doivent être exécutées sans risque, mais cela veut plutôt dire que les risques inhérents à ces activités doivent être bien gérés. Le pivot de l'assurance de la qualité en ce qui a trait aux études de génie au Canada, le BCAPI, exprime l'argument moral/éthique par son critère 2.2.7 (BCAPI, 2005):

Chaque programme doit assurer que les étudiants sont au courant du rôle et des responsabilités de l'ingénieur dans la société. Une exposition adéquate à l'éthique professionnelle, à l'équité, à la santé et la sécurité publique et des travailleurs et les concepts de développement durable doivent faire partie intégrante du curriculum des études en génie.

La question fondamentale visant à déterminer si une compagnie pense qu'il est possible d'atteindre une norme plus élevée de sécurité – essentiellement à savoir si une compagnie pense que la sécurité est « la bonne chose à faire » – a récemment été abordée dans l'excellent livre de Andrew Hopkins. Hopkins (2005) décrit trois concepts qui décrivent l'approche d'une compagnie à l'égard de la culture de la sécurité et qui présentent l'argument que les trois sont essentiellement des méthodes décrivant le même phénomène :

- **Culture de sécurité** : Le concept d'une culture de sécurité intègre les cultures secondaires suivantes :
 - Une *culture de reddition des comptes* à l'intérieur de laquelle les gens signalent les erreurs, les accidents évités de justesse, les conditions non conformes aux normes, les procédures inadéquates, etc.
 - Une *culture équitable* à l'intérieur de laquelle le blâme et la punition sont réservés pour le comportement supposant l'acte de défi, de la témérité ou de la malice, de façon telle que les rapports sur les incidents ne soient pas découragés.
 - Une *culture d'apprentissage* à l'intérieur de laquelle une entreprise tire des leçons de ses incidents rapportés, des renseignements sur les procédures de manière consciencieuse, et qui apporte les changements en conséquence.

- Une *culture flexible* à l'intérieur de laquelle les processus décisionnels ne sont pas si rigides qu'ils ne peuvent pas être différents selon la nature urgente de la décision et l'expertise des personnes impliquées. Hopkins (2005) utilise les exemples des catastrophes des navettes spatiales Challenger et Columbia pour illustrer ce point. Il explique que les décisions dans ces situations ont été prises par des représentants de la haute direction de la NASA, fonctionnant à l'intérieur d'un modèle formé de nombreuses couches de bureaucratie, plutôt que par les ingénieurs les mieux équipés pour prendre les décisions. L'argument de Hopkins suppose implicitement que les ingénieurs en présence comprenaient les risques inhérents.
- **Conscience collective** : Le concept de conscience collective englobe le principe de *l'organisation consciente* qui incorpore les processus suivants :
 - Une *préoccupation par rapport à l'échec* afin qu'une entreprise ne fasse pas l'erreur d'éprouver un faux sentiment de sécurité lors des périodes de réussite. Une entreprise qui se préoccupe de l'échec possède une culture bien développée de reddition de comptes.
 - Une *répugnance à simplifier* les données qui, à première vue, semblent non importantes ou sans rapport, mais qui en fait, peuvent comprendre l'information nécessaire pour réduire la probabilité d'une surprise à venir.
 - Une *acuité face aux opérations* dans le cadre desquelles les exploitants de première ligne et les gestionnaires visent à se garder aussi à jour que possible sur l'état actuel de fonctionnement, et à comprendre les répercussions de la situation actuelle sur l'exploitation à venir de l'entreprise.
 - Un *engagement à l'égard de la résistance* dans le cadre duquel les entreprises réagissent aux erreurs ou aux crimes de façon adéquate pour s'attaquer à la difficulté, et un *droit de réserve face à l'expertise* dans le cadre duquel les décisions sont prises par les gens au niveau hiérarchique de l'entreprise qui possèdent les connaissances et les aptitudes les plus adéquates pour s'attaquer à la difficulté.
- **Sensibilisation aux risques** : Hopkins (2005) déclare que la sensibilisation au risque est synonyme de conscience collective (qui est évidemment liée étroitement au concept d'une culture de sécurité). Nous sommes d'accord avec cette déclaration et nous ajouterions de même que le processus de gestion du risque présenté à la figure 1 correspond entièrement à la discussion plus haut sur la culture de sécurité, la conscience collective et la sensibilisation au risque. Il est absolument essentiel que les entreprises pratiquent la gestion du risque et que les ingénieurs comprennent les principes fondamentaux de la gestion du risque.

Exigences légales

D'une façon générale au Canada, nous ne possédons pas toutes les exigences législatives et réglementaires des États-Unis ou des pays d'Europe en relation avec la gestion des risques découlant des dangers industriels importants. D'habitude, l'approche du Canada est de se fier plus largement aux initiatives volontaires pour les programmes de santé, de sécurité et d'environnement. Il ne faudrait d'aucune façon interpréter ces déclarations comme s'il n'y avait pas de lois au Canada pour réglementer la santé publique, la sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement, le transport des marchandises dangereuses et autres éléments semblables. Bien sûr, des mesures législatives et règlements de ce genre existent. Il n'en demeure pas moins que le régime réglementaire global au Canada pour la gestion du risque est différent de ceux utilisés dans plusieurs autres pays (comparativement, par exemple, au Programme de gestion du risque, promulgué par la *US Environmental Protection Agency*, à la Règle de gestion de la sécurité des précédés exécuté par la *US Occupational Safety and Health Administration*, et à la Directive Seveso II obligatoire partout dans l'Union européenne pour le contrôle des dangers importants liés aux substances dangereuses). *[En 1976, un rejet d'environ 2 kg de dioxine, avec des quantités beaucoup plus importantes d'autres substances dangereuses, s'est produit dans une installation de fabrication de produits chimiques dans la petite ville de Seveso en Italie. Cet incident, ses causes et les conséquences en découlant ont été un facteur clé primordial pour le contrôle des dangers importants partout dans une grande partie de l'Europe.]*

Dans le paragraphe plus haut, il est probablement plus facile de comprendre la discussion en faisant référence au travail de Lacoursière (2005a). Ce document est la version d'archives de la présentation faite par Jean-Paul Lacoursière, ing., à la *International Conference on the 20th Anniversary of the Bhopal Disaster: Bhopal Gas Tragedy and its Effects on Process Safety*, IIT Kanpur, Inde (1^{er} – 3 décembre 2004), à laquelle a aussi assisté un des auteurs du présent document (PRA). Lacoursière est largement reconnu comme conseiller en gestion du risque (J.-P. Lacoursière inc.) et éducateur (Université de Sherbrooke). Dans Lacoursière (2005a), il décrit la réaction du Canada face au sinistre de Bhopal qui s'est produit en 1984 et qui est sans aucun doute le pire accident industriel à ce jour. Des milliers d'habitants de Bhopal ont été tués aux premières heures du jour, le 3 décembre 1984 à la suite du rejet d'environ 25 tonnes d'isocyanatométhane toxique (MIC) d'une installation de l'Union Carbide fabriquant des pesticides agricoles. Des milliers d'autres personnes sont décédées au cours des semaines suivantes et plusieurs milliers de personnes souffrent encore aujourd'hui à Bhopal. Le désastre de Bhopal est un exemple honteux de la gestion lamentablement inadéquate du risque d'ingénierie.

Lacoursière (2005a) résume la réaction du Canada à l'aide d'un calendrier illustrant les développements importants comme l'initiative Responsible Care[®] entreprise par l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques (ACFPC) et l'établissement, par Environnement Canada, du Conseil canadien des accidents industriels majeurs (CCAIM, maintenant dissous). Il explique l'approche volontaire exemplaire pour contrôler les dangers majeurs au Canada, et il résume surtout plusieurs incidents récents qui annoncent un changement possible du climat réglementaire au Canada en ce qui a trait au contrôle des dangers et à la gestion du risque. Les

éléments suivants méritent d'être soulignés à cause de leur impact sur les pratiques de gestion du risque des ingénieurs :

- **LCPE 200** : Des changements récents à la Loi sur la protection de l'environnement, section 200, exigent que les installations qui possèdent toute substance figurant sur une liste réglementée, élaborent et fassent l'essai d'un plan d'urgence environnementale couvrant la prévention, l'état de préparation et l'intervention et la reprise (PPIR) pour les urgences possibles mettant en cause les substances répertoriées (Shrives, 2004).
- **Projet de loi C-45** : Des amendements au Code criminel du Canada, lesquels sont entrés en vigueur le 31 mars 2004, ont été apportés pour élargir considérablement la responsabilité criminelle des entreprises en ce qui a trait à la santé et la sécurité; ce projet de loi est en général connu sous le nom de projet de loi Westray (pour faire référence à l'explosion dans la mine Westray décrite dans une section ultérieure du présent document). Dans le cas des personnes qui supervisent la façon dont d'autres personnes effectuent leur travail (par ex., les gestionnaires et les administrateurs d'entreprises), les actes qui démontrent une indifférence totale face à la sécurité des travailleurs ou à la sécurité publique peuvent mener à des accusations de négligence criminelle (Stelmakowich, 2004).
- **Loi sur la protection des personnes et des biens en cas de sinistre du Québec** : La nouvelle Loi sur la protection des personnes et des biens en cas de sinistre du Québec a été adoptée en 2001 en réaction aux inondations dans la région du Saguenay en 1998 et à la tempête de verglas de 1999. Elle vise à protéger les individus et les propriétés, dans le cas d'un sinistre, à l'aide de certaines composantes fondamentales de la gestion efficace du risque – par exemple, la planification de l'intervention en cas d'urgence et les mesures d'atténuation du sinistre (Lacoursière, 2005a).
- **Loi et Programme sur la gestion des situations d'urgence de l'Ontario** : Les changements apportés à la gestion des situations d'urgence dans la province de l'Ontario, tout comme ceux mentionnés plus haut au Québec, se sont produits en réaction à des événements récents comme la tempête de verglas de 1999, le passage à l'an 2000, les événements du 11 septembre et la pandémie du SRAS. Ces changements ont des impacts considérables possibles pour la planification d'urgence au niveau municipal. (Lacoursière, 2005a).

Il existe donc un cadre légal rigoureux pour justifier les bonnes pratiques de gestion du risque dans les entreprises d'ingénierie au Canada. Le régime réglementaire du Canada change quelque peu et est différent de celui des États-Unis et de l'Europe. Ce dernier point est surtout important pour les sociétés d'ingénierie qui ont des exploitations à l'échelle mondiale. L'essentiel au sujet des pratiques de gestion du risque au Canada est que ces pratiques *ne* sont définitivement *pas* perçues comme « volontaires » par les tribunaux si un incident de perte de productivité se produit. Les tribunaux s'attendent à une diligence raisonnable et ceci englobe le recours à des activités de gestion du risque exemplaires et d'avant-garde comme seule façon acceptable de mener des affaires. Ces activités comprendront les concepts fondamentaux que connaissent assez bien les ingénieurs : les codes, les normes et les systèmes de gestion. Nous présentons certains exemples précis pour illustrer la gestion du risque ci-après :

- **Systeme de gestion de la sécurité des procédures** : GSP (Gestion de la sécurité des procédures; guide disponible de la Société canadienne du génie chimique).
- **Systemes de gestion en santé et sécurité au travail** : SGSST de l'AIHA (*American Industrial Hygiene Association*); BSI/OHSAS 18001 (*British Standards Institute/Occupational Health and Safety Assessment Series 18001*).
- **Systemes de gestion de l'environnement** : ISO 14001 (Organisation internationale de normalisation 14001).
- **Normes de la gestion du risque** : CSA-Q850-97 (Association canadienne de normalisation; Gestion du risque : directive pour les décideurs).
- **Normes d'intervention en cas d'urgence** : CSA-Z731-03 (Association canadienne de normalisation; Protection civile et intervention).

Motivation financière

The first duty of business is to survive, and the guiding principle of business economics is not the maximization of profit – it is the avoidance of loss. – Peter Drucker. Voici la citation qui figure sur la page couverture de Wilson (1998). Cette citation transmet, avec concision et efficacité, la motivation financière sous-jacente à la gestion du risque. Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'approche intégrée de gestion du risque reconnaît et tente de prévenir et d'atténuer la perte dans chacun des quatre principaux domaines : les gens, l'environnement, les biens et la production, domaines qui ont toute la possibilité d'entraîner une perte financière (comme le paragraphe suivant l'illustre).

Dans CCPS (2001), le *Center for Chemical Process Safety* des États-Unis présente l'analyse de rentabilité pour gérer la sûreté du procédé. Il s'agit essentiellement d'une analyse de rentabilité pour la gestion du risque et comprend les éléments suivants : (CCPS, 2001):

- **Autodétermination** : La gestion efficace du risque fournit à une entreprise la liberté de gérer son commerce, de croître de façon responsable et de faire des profits et de satisfaire ses intervenants. L'exploitation et l'expansion de la compagnie peuvent alors se poursuivre avec le soutien tant du public que des autorités de réglementation.
- **Éviter les pertes importantes** : La gestion efficace des risques permet d'éviter des incidents producteurs de perte et permet aussi à une compagnie de minimiser :
 - Les pertes de vie et les blessures des employés, fournisseurs et membres du grand public.
 - Les dommages aux propriétés (biens). CCPS (2001) présente un coût moyen pour l'industrie, lié au procédé, de 80 millions de dollars américains par incident majeur.
 - L'interruption des affaires (perte pour le procédé ou la production), y compris la perte de la part du marché jusqu'à ce que la réputation de la compagnie soit rétablie (si, en fait elle est un jour rétablie).
 - Les amendes réglementaires et les coûts des litiges.
 - Les coûts des enquêtes sur les incidents et la mise en oeuvre de mesures de redressement.
- **Responsabilité de la compagnie** : La gestion efficace du risque repose sur la création d'une culture de sensibilisation au risque à l'intérieur d'une compagnie comme nous

l'avons décrit plus haut (Hopkins, 2005). Cette responsabilité s'ensuit, d'une façon telle que la compagnie est jugée « faire les bonnes choses » en tant que membre responsable de l'industrie et de la collectivité. Ceci est en fait la base du programme Responsible Care[®] de l'ACFPC pour ses compagnies adhérentes (Lacoursière, 2005). Grâce à cela, les employés auront un meilleur moral et une plus grande loyauté envers la compagnie et cette dernière pourra profiter de ventes plus élevées et d'une meilleure position sur le marché.

- **Valeur** : La gestion efficace du risque correspond à « bien faire les bonnes choses » Ceci entraîne l'augmentation des recettes et de la productivité et la réduction du coût du produit. Un élément particulièrement important souligné dans CCPS (2001) est le fait que pour les plus petites entreprises, à cause des exigences portant sur l'intendance du produit, la démonstration de bonnes pratiques de gestion du risque peut être une condition préalable nécessaire pour faire affaire avec des compagnies plus importantes qui sont plus versées en gestion du risque.

Besoins en matière d'éducation

Les trois sections précédentes ont démontré le cadre moral/éthique, légal et financier expliquant la nécessité pour les ingénieurs en exercice d'effectuer la gestion du risque. Donc, il va de soi que le système canadien d'études en génie aborde le sujet de la gestion du risque. Certains indices révèlent que c'est bien le cas, mais un effort plus concerté est aussi nécessaire. Nous présentons tout d'abord une preuve des activités, même si elle est anecdotique et se limite à la connaissance des auteurs :

- Depuis plus d'une décennie, la Faculté de génie de l'Université de l'Alberta, offre l'*Industrial Safety & Loss Management Program (ISLMP)*. Ce programme unique au Canada a été lancé sous le leadership du doyen de la faculté de génie de l'époque, M. Fred Otto, P.Eng. et était présidé au début par le professeur Laird Wilson, P.Eng. Le programme se poursuit aujourd'hui avec le soutien du doyen David Lynch, P.Eng. est présidé par un des auteurs du présent document (DJM). L'ISLMP profite d'un grand soutien de l'industrie et offre des cours facultatifs tant aux étudiants en génie qu'en administration des affaires dans le domaine de la *sécurité industrielle et gestion des pertes* et de la *sécurité au travail et gestion des risques*.
- Le Département de génie des procédés industriels et des sciences appliquées de l'Université Dalhousie offre un cours obligatoire sur la *sécurité industrielle et gestion des pertes* à ses étudiants de premier cycle en génie chimique et sciences environnementales. Il offre aussi un cours de deuxième cycle sur la *prévention des pertes et évaluation des risques*. De plus, douze conférences sur la sécurité au travail et la gestion des pertes sont présentées dans le cadre d'un cours obligatoire intitulé *Engineering in Society II* pour les étudiants en génie biologique, civil, électrique, des matériaux, mécanique et minier. L'autre auteur du présent document (PRA) enseigne ces cours.
- La Faculté du génie et des sciences appliquées de l'Université Memorial de Terre-Neuve a établi un programme exceptionnellement rigoureux d'études et de recherche de premier cycle et de deuxième cycle sur la gestion du risque (génie du pétrole et du gaz en zone extracôtière, génie environnemental, gestion de l'intégrité des biens, génie de la fiabilité,

etc.) M. Faisal Khan, P.Eng. est un membre clé de l'équipe de gestion du risque à cette université.

- L'Université de Sherbrooke a développé des cours sur la gestion du risque en ingénierie grâce à la participation considérable de Jean-Paul Lacoursière, ing.
- Depuis 1982, l'Université de Waterloo héberge l'*Institute for Risk Research* (IRR). Le premier objectif de l'IRR est d'aider les gouvernements, les organismes publics et l'industrie à prendre des décisions et établir des politiques en matière de gestion du risque.
- L'Université Dalhousie a récemment annoncé la formation du RBC *Centre for Risk Management*. Il est intéressant de noter que, bien que ce centre loge officiellement à la faculté de gestion, le directeur du centre, M. Ron Pelot, P.Eng. provient du département de génie industriel. M. Pelot est spécialiste du risque dans le transport maritime et comprend bien l'importance de la gestion du risque en ingénierie.

Au cours des dernières années, les auteurs du présent document ont participé, avec d'autres membres de l'équipe provenant de l'industrie et du monde universitaire, à la planification et à la mise sur pied d'un « Institut d'été » pour les facultés de génie chimique du Canada (Amyotte, 2004 et 2005; Amyotte et McCahill, 2004). Le programme de l'Institut d'été vise à étendre la base de connaissances du milieu universitaire sur les principes fondamentaux de la sécurité des procédés et de la gestion du risque. La prémisse est que ces sujets peuvent et devraient être enseignés dans le cadre du programme d'études de premier cycle du génie chimique. Tout comme les sujets tels le contrôle des procédés, le transfert de la chaleur et les procédés de séparation font partie intégrante des études de génie chimique, les principes de la sécurité des procédés et la gestion du risque doivent aussi en faire partie.

Le programme de l'Institut d'été est un partenariat entre la Division de la gestion de la sécurité des procédés (GSP) de la Société canadienne du génie chimique (SCGCh) et Minerva Canada Inc., organisme sans but lucratif dont l'objectif est de présenter les concepts et les principes de la gestion de la santé et de la sécurité au travail dans le cadre du programme d'études des écoles de génie et d'administration des affaires. Le premier programme de l'institut a eu lieu à Sarnia en Ontario du 30 mai au 2 juin 2004 avec le concours financier et la participation active de plusieurs commanditaires industriels. Ce cours inaugural comprenait 24 participants et au moins un membre du corps professoral (et dans quelques cas, deux) de 18 des 20 programmes reconnus en génie chimique au Canada, ainsi qu'un collègue d'un programme associé de génie mécanique/des procédés opérationnels. Le deuxième cours a eu lieu du 29 mai au 1^{er} juin 2005, à nouveau à Sarnia en Ontario. Cette activité a servi à rassembler 34 professeurs et praticiens industriels de Vancouver à St. John's, ainsi que des États-Unis.

Le programme d'études de l'Institut est conçu pour présenter aux membres du corps professoral les composantes de base de la sécurité des procédés et la gestion du risque. Les sujets comprennent (parmi plusieurs autres) : les systèmes de gestion, les éléments du programme de sécurité; l'analyse des conséquences, les outils de gestion du risque comme le *Dow Fire & Explosion Index* et le *Dow Chemical Exposure Index*, et les attentes des compagnies et du public en ce qui a trait à la gestion de la sécurité et du risque. Nécessairement, les principaux dangers techniques abordés sont les incendies, les explosions et les rejets de gaz toxiques; ce sont les

principaux dangers que la sécurité des procédés doit permettre de prévenir et d'atténuer et qui intéressent les ingénieurs chimiques dans un environnement de procédés.

Par ailleurs, le modèle de l'Institut d'été est complètement adaptable à d'autres disciplines et professions. L'Institut 2006, prévu pour la fin mai à Windsor en Ontario sera dirigé par Minerva Canada et se concentrera surtout sur les professeurs en administration des affaires de partout au Canada. L'Institut 2007 sera dirigé par la GSP de la SCGCh et placera à nouveau l'accent sur le génie (chimique, mais aussi avec une tentative visant à faire participer les éducateurs dans le domaine du génie mécanique). Au fil du temps, ce modèle aura la possibilité de s'étendre à pratiquement toutes les disciplines de génie pour laquelle un groupe de base de « champions » en gestion du risque peut être identifié.

Les titulaires des chaires de conception en ingénierie et de conception environnementale en ingénierie du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) ont aussi relevé ce besoin, la formation en gestion du risque pour les ingénieurs. Dans leur rapport, *Vers un plan directeur pour la formation des ingénieurs-concepteurs : la compétence en conception* (CRSNG, 2005), ils soulignent la nécessité d'études en gestion du risque et sur des sujets connexes à de nombreuses reprises. Nous présentons plusieurs exemples tirés de ce rapport. Les numéros de page indiqués correspondent aux numéros utilisés dans le rapport (CRSNG, 2005) :

- **Page 20** : Le rapport cite la définition utilisée par le BCAP pour la conception : *La conception en ingénierie fait l'intégration des mathématiques, des sciences fondamentales, des sciences du génie et des études complémentaires de façon à développer des éléments, des systèmes et des procédés qui répondent à des besoins spécifiques. C'est un processus créateur, itératif et souvent sans limites précises. Dépendant de la discipline, il est soumis, à divers degrés, à des contraintes pouvant provenir de normes ou de lois. Ces contraintes peuvent toucher à des facteurs reliés à l'économie, la santé, la sécurité, l'environnement, la société, ou à d'autres facteurs interdisciplinaires pertinents.* (Nous avons souligné certains éléments pour mettre l'accent sur le fait que cette définition de la conception intègre l'essentiel de la gestion du risque.)
- **Page 28** : Dans la section sur les compétences établies de l'ingénieur-concepteur, le rapport fait allusion à des activités spécifique au processus de conception comme l'analyse des modes de défaillance et leurs effets (AMDE), les méthodologies pour la sécurité et les facteurs humains.
- **Page 29** : Dans la même section sur les compétences établies de l'ingénieur-concepteur, le rapport discute des compétences en affaires, y compris l'analyse du risque.
- **Page 31** : Dans la même section sur les compétences établies de l'ingénieur-concepteur, le rapport parle des compétences techniques nécessaires mentionnées dans les enquêtes de l'industrie comme la connaissance des codes et des normes.
- **Page 36** : Dans un tableau fournissant une proposition pour une définition de la compétence en conception, le rapport mentionne à nouveau l'AMDE dans la section « connaissance des procédures ». Dans la section « connaissances spécifiques en milieu professionnel », les sujets concernant les normes, les réglementations, la sécurité, la responsabilité et la déontologie sont mentionnés. Dans la section « habiletés cognitives », la liste suivante est présentée : *Connaître ses limites, créer, voir les situations dans leur*

ensemble, gérer des projets (ce qui comprend la perspective globale), apprendre à apprendre, gérer l'information et la connaissance, définir un problème, définir des solutions potentielles, apprendre des expériences antérieures, gérer les ressources, prendre des risques (gestion des risques).

- **Page 37 :** Le rapport explique les connaissances de l'ingénieur-concepteur en matière de sécurité de la façon suivante : *La pratique de l'ingénierie porte fondamentalement sur la protection de la sécurité du public.* La phrase suivante de la section appuie aussi beaucoup la thèse du présent document : *En tant que concepteurs, les ingénieurs finissants devraient avoir rencontré ou expérimenté une ou plusieurs des techniques classiques pour reconnaître et réduire les risques pour la sécurité.* (Ce que l'on comprend de ce passage est de tout d'abord identifier les dangers, et d'atténuer ensuite les risques posés par ces dangers). Le rapport distingue la méthode HAZOP (*Hazard and Operability Studies* ou analyse de risque et d'opérabilité), la méthode AMDE (analyse des modes d'échecs et de leurs répercussions) et la méthode FTA (*Failure Trend Analysis* ou analyse des défauts les plus fréquents), qui sont trois méthodes courantes utilisées pour l'identification des dangers.
- **Page 37 :** Le rapport explique la connaissance de la conception pour la responsabilité en expliquant que l'importance d'étudier la question de la responsabilité vient du fait que *les ingénieurs décident du degré de sécurité (c.-à-d. le risque) approprié pour chaque produit ou service. Si le choix est inapproprié, la personne touchée risque d'avoir pour unique recours de porter sa cause en justice.*
- **Page 38 :** En expliquant les connaissances sur les codes, les lois et règlements, le rapport précise que tous les ingénieurs finissants doivent avoir une bonne connaissance du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) et de ses incidences sur leurs conceptions.
- **Page 38 :** L'explication des connaissances sur les normes précise que celles-ci jouent un rôle essentiel pour élever les niveaux de la qualité, de la sécurité et de la fiabilité. Les systèmes de management environnemental comme la norme ISO 14001 sont présentés comme éléments essentiels auxquels doivent être exposés les étudiants du programme d'études en génie.
- **Page 41 :** En discutant de la nécessité d'effectuer l'évaluation du rendement par rapport à des critères et à des contraintes, le rapport souligne à nouveau l'importance du facteur de sécurité dans toute conception. Les méthodes HAZOP, AMDE, FTA, l'analyse du risque et la comparaison avec les normes et les codes existants, sont mentionnées comme éléments à utiliser pour évaluer la sécurité d'une conception donnée.
- **Page 46 :** Enfin, dans les habiletés cognitives, le rapport précise que les buts de la gestion des risques sont les suivants : *identifier spécifiquement les facteurs susceptibles d'avoir des répercussions sur les objectifs d'un projet, notamment sur la portée, la qualité, le temps et le coût; quantifier les répercussions probables de chaque facteur; établir une base pour les éléments incontrôlables; atténuer les répercussions en influant sur les éléments contrôlables.* Voilà précisément les objectifs du processus de gestion du risque illustrés plus haut à la figure 1.

Le document de Friesen et al. (2005) présente un cas précis pour appuyer les arguments généraux avancés dans le CRSNG (2005). Dans ce texte, les auteurs décrivent leur étude qualitative d'une série de trois cours en conception du génie des biosystèmes offerts à l'Université du Manitoba.

Ces éducateurs précisent qu'un de leurs buts pour le deuxième cours en conception est l'introduction à la théorie de la planification de projet, la sécurité et l'ingénierie des facteurs humains. Il est intéressant de noter l'étroite correspondance du but de cet enseignant avec la perception des buts du cours de la part des étudiants, qui était de développer des compétences en communication, le travail d'équipe, la gestion du temps et l'étude de la sécurité dans la conception.

Les éducateurs en ingénierie et leurs collègues industriels aux États-Unis ont aussi commenté sur le besoin touchant des éléments à étudier pour la gestion du risque dans les programmes d'études de génie de premier cycle. Dans leur rapport, *Educating the Engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century* (NAE, 2005), la *US National Academy of Engineering* présente la recommandation suivante :

Dans le but de promouvoir le succès et d'éviter l'échec, nous recommandons que les éducateurs en génie envisagent l'élaboration d'études de cas pour les succès et les échecs en ingénierie et l'utilisation adéquate de l'approche des études de cas dans les programmes d'études de premier et de deuxième cycles. (traduction)

L'utilisation des études de cas est un outil pédagogique très reconnu pour les études en gestion du risque. Cette approche fournit des renseignements valables pour faciliter l'amélioration des procédures, conceptions, conditions de fonctionnement, etc. Dans les mots de Crawl et Louvar (2002), on tire des leçons de l'histoire ou on est voué à la répéter. Ceci est surtout vrai dans le domaine de la gestion du risque où il est possible de tirer des leçons des études de cas et de prévenir les situations dangereuses, ou d'ignorer les incidents antérieurs et de devenir impliqué dans ces incidents potentiellement dangereux pour la vie.

Activités des membres constituants du CCI

Le Conseil canadien des ingénieurs est une organisation axée sur ses membres. Les membres constituants (MC) du CCI représentent douze associations de réglementation provinciales et territoriales. En tentant de répondre à la question : *Pourquoi la gestion du risque pour les ingénieurs?*, il est donc important d'aborder la question : *Quelles sont les activités des MC en ce qui a trait à la gestion du risque?* La liste ci-après fournit une réponse partielle basée sur les connaissances personnelles des auteurs; une image plus complète est nécessaire et fait l'objet d'une recommandation présentée plus loin dans le présent document :

- **Colombie-Britannique** : La question des qualifications nécessaires pour les ingénieurs des structures est une question importante pour l'APEGBC depuis plusieurs années, en partie à cause du problème des « copropriétés endommagées par l'humidité ». Ce problème et d'autres facteurs ont entraîné la formation, il y a quelques années, d'un groupe de travail du CCI sur la spécialisation et la certification des ingénieurs. En qualité de membre de ce groupe de travail, un des auteurs (P. Amyotte) du présent document rappelle qu'il s'agissait de traiter essentiellement d'une question d'évaluation et de gestion du risque.
- **Alberta** : Dernièrement, l'APEGGA a révisé son guide intitulé *Guideline for Management of Risk in Professional Practice*, qui traite de ce que peuvent faire les membres pour évaluer et gérer les risques liés à l'exercice de leur profession.

L'APEGGA avait antérieurement produit le document *Basic Learning in Industrial Safety and Loss Management* (Wilson, 1998), à l'intention des ingénieurs de cette province.

- **Ontario** : De façon semblable à la question des qualifications supplémentaires pour les ingénieurs des structures en Colombie-Britannique, PEO et ses membres ont abordé la question des qualifications pour réaliser des évaluations environnementales des sites et des évaluations du risque pour l'assainissement des zones désaffectées (sites industriels et commerciaux contaminés; Mastromatteo, 2005).
- **Québec** : À l'heure actuelle, l'OIQ est en train de dresser un profil de compétences pour les ingénieurs s'occupant des études du risque. Une étape subséquente de ce travail sera d'élaborer une matrice des cours de formation (Lacoursière 2005b).

En plus de la liste partielle des activités des MC présentée plus haut, au cours des dernières années, tous les MC ont travaillé à mettre au point des recommandations pour leurs membres en vue d'adapter les conceptions en ingénierie aux effets des changements climatiques. Le CCI a aussi travaillé de concert avec les MC à la préparation d'un plan d'action pour l'adaptation aux changements climatiques; la gestion du risque est une composante essentielle de ce plan pour appuyer la question de l'incertitude dans les prévisions des changements climatiques pour la conception. Une approche de cycle de vie pour la conception – à nouveau possible uniquement grâce à l'évaluation délibérée des risques – est nécessaire pour s'occuper des impacts des changements climatiques sur les produits du travail d'ingénierie (Lapp, 2005). Voilà un domaine, parmi un certain nombre de domaines d'exercice, où le besoin de connaissances en matière de d'assurance responsabilité civile professionnelle se présente pour les ingénieurs.

Initiatives des sociétés techniques

En plus de faire partie d'un organisme de réglementation (p. ex., APENS et APEGGA respectivement, dans le cas des auteurs actuels), plusieurs ingénieurs au Canada font aussi partie de la société technique propre à leur discipline pertinente. Nous-mêmes, les auteurs du présent document, sommes aussi membres de la Société canadienne du génie chimique (SCGCh). En plus d'examiner les activités des MC de la CCI dans le domaine de la gestion du risque, nous étions d'avis qu'un exercice utile serait de nous pencher brièvement sur les activités de sociétés techniques choisies dans ce domaine. À ce sujet, l'examen est bref en effet, et il est incomplet. Il est toutefois assez révélateur.

Les deux auteurs de ce document sont membres du conseil d'administration de la Division de la gestion de la sécurité des procédés (GSP) de la SCGCh. Il s'agit d'une des divisions les plus actives de la société et elle comprend surtout des membres de l'industrie (dans une société technique qui recrute globalement ses membres surtout au sein du monde universitaire). Même un examen superficiel du site Web de la division de la GSP (GSP, 2006) sert à distinguer de nombreux produits utiles (et gratuits), notamment : (note : ces produits sont disponibles en anglais seulement)

- **Outil d'autoévaluation d'un site** : Il s'agit d'un document formé de questions qui est utile pour établir un niveau de référence de l'état actuel de sensibilisation au risque d'une installation et de l'utilisation de techniques importantes pour prévenir les incidents liés

aux procédés. L'outil peut aussi aider à identifier les domaines d'amélioration prioritaires.

- **Guide pour la communication aux sites à risque grave** : Ce document fournit des conseils sur la communication des risques d'incidents soudains découlant des opérations du site et de leurs répercussions pour la collectivité environnante.
- **Guide de la gestion de la sécurité des procédés (troisième édition)** : Ce document présente les grandes lignes de la gestion de la sécurité des procédés (GSP, le système de gestion) pour les installations qui manipulent des matières dangereuses.

Comme la liste plus haut l'illustre, la Société canadienne du génie chimique prend au sérieux la gestion du risque (et on s'y attend étant donné les dangers et les risques auxquels les ingénieurs chimiques/des procédés font face dans l'industrie). Une « expérience » a été tentée dans le cadre du présent document pour déterminer si d'autres sociétés techniques d'ingénierie affichaient des renseignements sur les risques dans leurs sites Web. Nous avons effectué une recherche d'une demi-heure (au total) dans les sites Web des sociétés techniques de trois domaines principaux d'ingénierie (en date de la mi-janvier 2006). Les résultats peu scientifiques, il faut le reconnaître, sont les suivants :

- **Société canadienne de génie mécanique** : Le Site Web de la SCGM (SCGM, 2006) contenait une annonce de la conférence sur la technologie des changements climatiques organisée par l'Institut canadien des ingénieurs (ICI) en mai 2006, à Ottawa. Il contenait aussi des renseignements sur le Forum 2006 de la SCGM qui aura lieu à Calgary en mai 2006. L'invitation à présenter des communications comprend les domaines de l'ingénierie de la fiabilité et de l'ingénierie de la sécurité comme sujets acceptables pour les présentations en génie mécanique.
- **Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.** : Le site Web de l'IEEE (IEEE, 2006) présentait un bulletin de nouvelles en ligne (Spectrum); l'édition de décembre 2005 contient un bref article sur les risques éventuels de la nanotechnologie. Un autre lien donnait accès à une étude récente d'un livre intitulé *Information Security Risk Analysis*. Un troisième lien contenait une présentation en PowerPoint de la *Power Systems Conference 2004* de l'IEEE intitulée *Asset Management, Risk, and Distribution System Planning*.
- **Société canadienne de génie civil** : Le site Web de la SCGC (SCGC, 2006) a peut-être produit le résultat le plus intéressant – le Rapport annuel 2004-2005 de la Société. Dans ce rapport, le directeur exécutif commente les résultats d'un atelier récent qui a eu lieu pour déterminer les priorités de la SCGC pour l'année à venir. Huit domaines de concentration figuraient à la liste des priorités stratégiques. Trois de ces priorités ont des liens directs et forts avec la gestion du risque : *préoccupations en matière de sécurité/santé; applications de développement durable (c.-à-d., gestion de l'eau/collectivités, changements climatiques); renouvellement de l'infrastructure (gestion des biens, systèmes de transport intelligent, etc.)*.

S'agit-il d'indications d'activités importantes de gestion du risque à l'intérieur de sociétés techniques autres que la SCGCh? Tout comme dans la section précédente sur les activités des MC, seule une réponse partielle peut être actuellement fournie – *peut-être*. À nouveau, nous

devons disposer d'une image plus complète et cette situation fait l'objet d'une recommandation plus loin dans le présent rapport.

POURQUOI LA GESTION DU RISQUE POUR *TOUS* LES INGÉNIEURS?

Nous croyons que la réponse à cette question a déjà été fournie par la nature de la discussion dans la section précédente : *Pourquoi la gestion du risque pour les ingénieurs?* Les éléments soulevés préalablement étaient généraux et pour la plupart, ils ne visaient pas une discipline précise d'ingénierie. Nous le convenons, certains exemples proviennent du monde de l'ingénierie des procédés; c'est tout simplement le reflet de deux facteurs de base. Tout d'abord, et plus évidemment, les études et la formation des auteurs sont à titre d'ingénieurs chimiques/de procédés de fabrication. Ensuite, les usines et les installations de procédés comportent souvent des conditions d'exploitation difficiles et la possibilité d'un sinistre est toujours présente. Ceci n'excuse pas les incidents comme ceux de Bhopal et de Seveso, mais cela aide à expliquer pourquoi lorsque les choses tournent mal dans une usine de produits chimiques, les conséquences peuvent être catastrophiques et les réactions très fortes parmi le grand public et les organismes de réglementation.

Dans différentes disciplines, les ingénieurs peuvent faire face à différents dangers et conséquences subséquentes, mais le processus générique pour gérer le risque (figure 1) est universel. Il est raisonnable de s'attendre à ce qu'un ingénieur chimique connaisse l'approche HAZOP comme technique pour identifier les dangers, tandis qu'on pourrait ne pas avoir la même attente d'un ingénieur électrique. De même, un ingénieur mécanique connaîtra probablement l'AMDE à cause de l'utilisation de cette technique pour l'identification des modes de panne de l'équipement et de la machinerie (par exemple, une valve ou une pompe). Un ingénieur électrique pourrait être bien placé pour comprendre le développement de l'arbre de panne, surtout pour l'évaluation du risque quantitatif à cause de la logique booléenne dont il est question.

Les commentaires précédents constituent quelque peu des stéréotypes, mais nous tenons à souligner le fait que les outils d'identification des différents dangers et d'analyse du risque existent pour une variété d'applications de génie. Bien sûr, le travail d'ingénierie n'est pas toujours tranché clairement dans les domaines disciplinaires comme peut sembler le suggérer le paragraphe précédent. La nature du travail moderne d'ingénierie souligne encore plus la nécessité, pour *tous* les ingénieurs, d'avoir des connaissances en gestion du risque.

L'équipe d'ingénierie

Les projets d'ingénierie sont souvent réalisés par une équipe pluridisciplinaire. Dans un sens plus étroit, l'équipe serait formée d'ingénieurs de différentes disciplines primaires. Dans un sens plus large, l'équipe, correspondrait à une « vraie » équipe pluridisciplinaire possédant une des qualifications ou toutes les qualifications suivantes : ingénieurs (possédant différentes compétences et connaissances), technologues, scientifiques des sciences naturelles ou sociales, avocats, diplômés en affaires, décideurs, spécialistes en relations publiques, etc. Pour les ingénieurs de cette équipe, il serait essentiel pour eux de comprendre le processus de gestion des risques. De plus, ils doivent savoir que leur propre point de vue sur la gestion du risque ne sera

pas nécessairement le même que celui d'une personne ayant des antécédents professionnels différents. Ce n'est pas de la simplification excessive que de préciser qu'un ingénieur peut se concentrer sur l'atténuation du risque d'incendie ou d'explosion alors que le chef d'entreprise pourra se concentrer sur la réduction de l'exposition financière et que l'avocat, lui, pourra tenter de réduire la responsabilité dans le cas d'un litige à venir. Chacun, dans son esprit, s'occupe du processus de gestion du risque.

Le paragraphe précédent touche un aspect important de la gestion du risque, lequel, jusqu'à maintenant, n'a pas été discuté explicitement, mais qui est tout de même implicite dans tous les éléments soulevés. Cet aspect porte sur la *communication du risque*. On dit occasionnellement qu'en réalité, le risque englobe trois composantes – la probabilité, la gravité et la *perception*. Le processus de gestion du risque peut facilement échouer si on ne reconnaît pas que différentes personnes perçoivent le risque de différentes façons et qu'elles ont des niveaux différents de tolérance au risque. Ce pourrait être le cas à l'intérieur de l'équipe de gestion du risque elle-même (comme nous l'avons décrite plus haut), mais on pourrait dire que c'est encore plus crucial lorsqu'on tient compte des façons dont le risque est perçu par les différents intervenants touchés par les décisions entourant la gestion du risque – les employés de la compagnie, les actionnaires, les organismes de réglementation, les voisins de la collectivité, le grand public, etc. La communication efficace du risque à toutes les étapes illustrées dans la figure 1 est essentielle pour assurer le succès du processus.

Ainsi, la sensibilisation communautaire augmente au Canada au sujet du risque, et plusieurs collectivités élaborent des politiques par voie de règlements administratifs et de guides pour le développement. En soi, ceci prouve la nécessité du milieu de l'ingénierie d'en connaître plus et d'être mieux formé dans le domaine au fur et à mesure que les ingénieurs participent davantage à des évaluations du risque axées sur la collectivité. La nécessité de bonnes techniques de communication du risque devient plus évidente lorsque les ingénieurs expliquent leurs analyses de risques non pas à d'autres ingénieurs, mais aux organismes de réglementation et au grand public. Un élément supplémentaire mérite d'être souligné : les sociétés d'ingénieurs au sein de ces collectivités deviendront elles-mêmes assujetties aux résultats de ces études de risque et la connaissance du processus de gestion du risque deviendra alors importante du point de vue de l'exploitation commerciale.

Ces caractéristiques des équipes de risques pluridisciplinaires et les grands besoins de la collectivité en matière de gestion du risque ont été reconnus dans plusieurs secteurs – notamment, par le gouvernement fédéral. En mars 2004, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) et Sécurité publique et Protection civile Canada (SPPCC) ont annoncé un programme conjoint de financement pour la recherche dans le domaine des interdépendances entre les infrastructures essentielles. Les extraits suivants de l'annonce (comprenant un texte souligné pour y mettre l'accent) sont surtout pertinents pour souligner l'argument que la gestion du risque est une connaissance nécessaire pour tous les ingénieurs :

- *Dans le cadre de ce programme, les chercheurs et les ingénieurs du milieu universitaire et des secteurs privé et public travailleront ensemble pour comprendre les liens entre les grands systèmes de production d'énergie, de communications, de finances, de soins de santé, de réseau alimentaire, d'eau et de transports du pays, et ce qui se produit*

lorsqu'un système tombe en panne. Chaque système est complexe, mais leurs interdépendances, qui peuvent les rendre vulnérables en cas de pannes successives, sont encore moins bien comprises.

- *Les principales infrastructures sous-jacentes de notre pays deviennent de plus en plus complexes et interdépendantes, a affirmé M^{me} Janet Walden, vice-présidente du CRSNG, Programmes de partenariats de recherche. Il est important que nous comprenions les liens entre nos infrastructures essentielles et leurs vulnérabilités afin que nous puissions réduire au minimum les risques pour la société canadienne en cas de panne. »*
- *Les événements récents, tels que la panne de courant en Ontario et dans le Nord-Est des États-Unis en août 2003, ont clairement démontré l'effet de domino qui peut survenir lorsqu'une panne de système causée par un accident, une catastrophe naturelle ou un acte de terrorisme entraîne des pannes multiples dans d'autres systèmes, a déclaré le président du CRSNG, M. Tom Brzustowski. Le CRSNG est fier de travailler en partenariat avec SPPCC pour appuyer cette recherche importante dont le but est de protéger tous contre les dangers pouvant découler de telles éventualités.*

Ce dernier point fait ressortir un nouvel ensemble de risques pour l'industrie et qui est au premier plan depuis quatre ou cinq ans – les actes de terrorisme. Bien que, depuis longtemps, le sabotage ait été reconnu comme un problème inquiétant, le monde de l'après 11 septembre vit avec une conscience plus élevée de la gestion du risque de ses réacteurs nucléaires, usines chimiques, raffineries de pétrole, systèmes de transport, approvisionnement en nourriture et en eau, etc. Les problèmes de sécurité des lieux et de la vulnérabilité aux actes de terrorisme se voient accorder une attention croissante. Par exemple, un des auteurs du présent document (PRA), assiste régulièrement au Symposium annuel sur la prévention des pertes de l'*American Institute of Chemical Engineers*. Alors qu'il y a des années, les études présentées traitaient presque exclusivement du risque des principaux dangers liés aux procédés, les dernières années ont été caractérisées par des présentations sur la protection de l'installation et la sécurité du lieu (par exemple, au moyen de barrières physiques), ainsi que sur la communication « équilibrée » des dangers et risques sur les lieux à des intervenants de l'extérieur du site.

Ce dernier point est particulièrement important étant donné qu'un des principes de base du programme Responsible Care[®] mentionné plus haut, est de communiquer au public, les dangers et risques posés par les installations chimiques dans leurs collectivités. L'information fournie doit nettement être bien réfléchi et équilibrée entre les besoins de savoir du public et les besoins d'une compagnie de protéger ses employés et ses biens physiques d'actes malveillants. C'est un domaine de gestion du risque en évolution pour l'équipe moderne d'ingénierie.

Une autre caractéristique de l'équipe d'ingénierie d'aujourd'hui qui souligne la nécessité, pour tous les ingénieurs, de posséder des connaissances en gestion du risque, est la pratique courante de la sous-traitance ou des ententes contractuelles pour les services d'ingénierie. Les conseillers en ingénierie fournissent régulièrement des services spécialisés à d'autres firmes d'ingénierie. C'est souvent le cas pour des grands projets où des partenariats et des projets conjoints sont formés, mais cette situation peut aussi être vraie pour des projets plus petits grâce à l'adjudication de contrats secondaires. Le succès de ces projets est en grande partie déterminé

par le degré d'éléments communs des pratiques de gestion du risque parmi les différentes parties. Une préoccupation qui n'est pas la moindre est de savoir s'il existe un tronc commun d'attentes pour le rendement de la sécurité et la sensibilisation au risque. (Horwood, 2005).

Le besoin de compétence en gestion du risque dans le domaine de la gestion de projet est davantage souligné par les activités du *Project Management Institute*. Le site Web (PMI, 2006) de cette organisation, qui représente plus de 200 000 professionnels à l'échelle mondiale, présente plusieurs exemples d'utilisations de la gestion du risque – par exemple, des cours et des ateliers sur la gestion du risque, un « groupe d'intérêt spécialisé » (GIS) voué à la gestion du risque et un ensemble de connaissances pour la gestion de projet qui englobe une section séparée sur les principes de la gestion du risque.

Pour terminer cette section, nous faisons référence à trois efforts internationaux axés sur la gestion du risque. Ces exemples illustrent deux buts. Tout d'abord, ils fournissent une vue d'ensemble de certaines activités de gestion du risque qui se déroulent à l'extérieur du Canada ou qui proviennent de l'extérieur du pays. Deuxièmement, ces exemples appuient complètement l'argument présenté dans le présent document expliquant que la gestion du risque est un domaine de connaissances nécessaires pour tous les ingénieurs. Chacune de ces initiatives est pluridisciplinaire et implique tous les membres de « l'équipe d'ingénierie ».

- **Atelier de l'OCDE** : En septembre 2003, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a organisé un atelier à Montréal conjointement avec l'OIQ, intitulé *Partager l'expérience de la formation des ingénieurs en gestion du risque*. L'organisateur principal pour le Canada était Jean-Paul Lacoursière, et environ 80 personnes de 13 pays ont participé à l'atelier. Les participants ont confirmé à l'unanimité que les ingénieurs doivent être au courant de leurs responsabilités à l'égard de leurs collègues, de leurs employeurs et de la société. Ils ont aussi confirmé qu'ils doivent intégrer la gestion du risque à leur travail. On a aussi établi un fort consensus selon lequel la gestion du risque devrait faire partie intégrante des études de premier cycle pour tous les ingénieurs (Lacoursière, 2003).

Sûreté de l'hydrogène : L'Université d'Ulster au R.-U. dirige un consortium international pour développer une *e-Academy of Hydrogen Safety* sous les auspices du *European Network of Excellence – Safety of Hydrogen as an Energy Carrier* (NoE HySafe). La motivation de cet effort provient du fait que le début et le développement subséquent de l'économie de l'hydrogène sont gênés par des obstacles de sécurité ainsi que par le niveau de l'acceptation des nouvelles applications par le public (Dahoe et Molkov, 2005). Un élément central du travail est l'élaboration de programmes d'études et de formation dans le domaine de la sûreté de l'hydrogène.

La description fournie par Dahoe et Molkov (2005) indique que l'approche met en jeu les études de premier cycle fondées sur un tronc commun des sciences du génie (dynamique des fluides, thermodynamique, cinétique, mécanique des solides et transfert de la chaleur et de la masse), complété par des sujets et des cours supplémentaires qui mettent l'accent sur la sûreté de l'hydrogène ainsi que des programmes d'études supérieures axés sur la sûreté de l'hydrogène. Grâce à ce modèle, la sûreté de l'hydrogène est jugée pertinente pour les secteurs suivants du génie : aérospatial, chimique, civil, électrique,

environnemental, sécurité pour les incendies et les explosions, matériaux, mécanique et nucléaire.

Ce travail important a progressé à un point tel qu'un *programme d'études international pour le génie de la sécurité de l'hydrogène* a été élaboré et est affiché sur le site Web de HySafe (HySafe, 2006). Ce programme propose un modèle de gestion du risque qui comprend les composantes suivantes :

- Évaluation générale du risque et mesures de protection pour le traitement et la manipulation des matières dangereuses.
 - Analyse de l'effet des accidents d'hydrogène.
 - Méthodologies d'évaluation du risque.
 - Identification des dangers et développement de scénarios.
 - Analyse de la vulnérabilité.
 - Utilisation de l'identification des dangers dans les procédés de base de l'économie de l'hydrogène.
 - Utilisation de l'analyse de la vulnérabilité pour les technologies d'atténuation dans l'économie de l'hydrogène.
- **ETPIS** : La *European Technology Platform on Industrial Safety* (ETPIS) a été lancée à la fin 2005, et Jean-Paul Lacoursière, ing., du Canada, y participe. Il s'agit d'un programme de recherche international énorme, pluriannuel et pluridisciplinaire qui vise à améliorer la compétitivité et la durabilité de l'industrie européenne grâce à la gestion améliorée du risque. Le programme de recherche stratégique pour ce programme (ETPIS, 2005) est lui-même un document volumineux (127 pages) que les auteurs de la présente étude n'ont pas encore eu le temps d'étudier attentivement. En se fondant sur une lecture rapide, il appert que l'étendue du programme est très détaillée en ce qui touche les méthodologies d'évaluation et de gestion du risque, les facteurs humains et organisationnels, les domaines des risques nouveaux et transversaux, les domaines de pratique et les besoins en matière d'études et de formation. Nous croyons qu'il s'agit d'une initiative internationale importante que les ingénieurs canadiens devraient bien connaître. Des renseignements supplémentaires sont disponibles sur le site Web de l'ETPIS (ETPIS, 2006).

L'introduction du résumé (ETPIS, 2005) est reproduit ci-après pour illustrer l'étendue du programme décrit plus haut; le texte ci-après sert aussi à renforcer la thèse du présent document : (traduction)

On prévoit que l'amélioration de la sécurité industrielle favorisera la compétitivité de l'industrie européenne. Le contrôle amélioré du risque soutiendra la croissance durable de l'industrie européenne. On peut s'attendre à profiter d'un effort coordonné pour la recherche dans les divers secteurs de l'industrie. Aujourd'hui, la recherche est fragmentée.

L'ETPIS reconnaît que seule une approche intégrée à l'évaluation et à la gestion du risque, y compris les interactions entre les hommes et les machines, les facteurs organisationnels et culturels et l'influence de la culture de la sécurité, est en mesure de s'occuper de la vision de présenter des normes et des pratiques améliorées et intégrées

en matière de sécurité dans toute l'industrie européenne. Elle reconnaît aussi qu'il est possible d'atteindre la condition nécessaire à l'intérieur de laquelle les gestionnaires, les développeurs de technologie et les concepteurs pourront créer des systèmes sécuritaires et les opérateurs utiliseront et entretiendront les systèmes de façon sécuritaire seulement par le biais de l'éducation et de la formation.

Les méthodes englobent la modélisation du risque, la fiabilité et la disponibilité des systèmes tout au cours de leur durée de vie de façon à être en mesure d'étudier l'impact des nouveaux projets d'entretien et de réparation pour la sécurité des systèmes, les coûts du cycle de vie, la fiabilité, la fonctionnalité et la qualité. Un autre problème majeur auquel plusieurs produits industriels, structures et installations en général font face est la nécessité de prolonger la durée de vie et d'assurer que cette extension ne dégrade pas le niveau sécuritaire de l'exploitation. Différentes industries s'attaquent à ce problème en utilisant le même contexte théorique mais en développant des stratégies et approches différentes. Donc, les méthodes pour l'évaluation des structures et de l'équipement existants seront aussi abordées, ainsi que les approches et les critères pour prolonger la durée de vie des produits et des systèmes industriels en toute sécurité et avec des niveaux adéquats de risque, de fiabilité et de disponibilité.

Pour maintenir la sécurité tout au long de la vie opérationnelle, les systèmes de gestion de la sécurité sont nécessaires et ils doivent s'occuper des systèmes physiques, des procédés et des gens en utilisant des mesures qui englobent la prévention, le contrôle et l'atténuation, l'intervention d'urgence et le redressement, qui seront utilisés dans une combinaison différente selon la nature des dangers, des signes avant-coureurs, des scénarios d'escalade et de la perte potentielle.

L'ETPIS travaillera en étroite collaboration avec les plates-formes propres à l'industrie pour transformer les méthodes et technologies développées à l'intérieur de la plate-forme en principes et outils accessibles et faciles à utiliser, ce qui exigera une approche propre à l'industrie. Ceci aidera les praticiens de l'industrie à identifier et à prévenir les risques potentiels, à comprendre et à améliorer la culture de la sécurité et à comprendre les autres facteurs qui ont une influence sur la sécurité.

Nous sommes d'avis qu'il est possible de paraphraser adéquatement le passage plus haut de la façon suivante : *La gestion du risque est un domaine de connaissance nécessaire pour tous les ingénieurs.*

Études de cas

Nous avons précédemment noté que les études de cas constituent l'un des outils les plus efficaces pour l'éducation en gestion du risque. En utilisant cette approche, on a tendance à insister davantage sur les défaillances en ingénierie plutôt que sur les succès. Le fait que ces études de cas soient disponibles et utilisables facilement dans la documentation, et qu'elles couvrent un éventail d'applications industrielles et de disciplines d'ingénierie, est une réalité qui donne à réfléchir.

Pour appuyer davantage l'argument sur le caractère essentiel des connaissances en gestion du risque pour tous les ingénieurs, nous avons présenté une brève vue d'ensemble des études de cas provenant de trois références sélectionnées (dont l'une a été préparée par un des auteurs du document actuel – DJM) :

- **Hopkins (2000)** : Dans son livre *Lessons from Longford: The Esso Gas Plant Explosion*, Andrew Hopkins décrit l'explosion en 1998 à l'usine à gaz de Longford, Victoria (Australie) déclenchée par la fragilisation du métal froid d'un échangeur thermique. Les disciplines pertinentes de génie engloberaient le génie chimique, des matériaux, mécanique et du pétrole. Hopkins (2000) décrit aussi l'explosion en 1994 de la mine de charbon Moura dans le Queensland central en Australie. La discipline pertinente dans ce cas est le génie minier.
- **Hopkins (2005)** : Dans ce livre auquel on fait allusion plus haut, *Safety, Culture and Risk*, Andrew Hopkins décrit tout d'abord l'accident ferroviaire qui s'est produit en 1999, à l'extérieur de la station Glenbrook à Sydney, Australie. Pour cette situation, il est plus instructif d'identifier les pratiques de génie qui seraient pertinentes; il s'agit de l'ordonnancement et de la conception et du contrôle des systèmes. Hopkins (2005) fournit aussi une étude de cas intéressante de la *Royal Australian Air Force* sur une période d'environ 20 ans (de la fin des années 1970 à 2000). Le cas comprenait le travail sur les réservoirs d'essence des chasseurs-bombardiers F111 de la Force aérienne qui entraînait de graves problèmes de santé pour de nombreux membres du personnel. L'activité pertinente de génie touche l'entretien; le domaine de préoccupation n'est pas un problème grave de sécurité (comme c'est le cas pour Longford, Moura et Glenbrook), mais plutôt un problème de santé au travail et d'hygiène industrielle.
- **Wilson et McCutcheon (2003)** : Dans *Industrial Safety and Risk Management*, Laird Wilson, P.Eng. et Doug McCutcheon, P.Eng. présentent plusieurs études de cas qui couvrent une variété de disciplines de génie, d'activités, de dangers et de risques :
 - *Flixborough (R.-U., 1974)* – explosion d'un nuage de vapeur de cyclohexane à une installation chimique; 28 décès.
 - *Piper Alpha (Mer du Nord, 1988)* – explosion de gaz et de pétrole sur une plateforme de forage en mer; 167 décès.
 - *Navette spatiale Challenger (É.-U., 1986)* – explosion; 7 décès.
 - *Hyatt Regency (Kansas City, 1981)* – effondrement de deux passerelles suspendues dans un hôtel; 114 décès.
 - *Titanic (Océan Atlantique, 1912)* – engloutissement d'un navire à passagers; plus de 1 500 décès.
 - *Lodgepole (130 km au sud-ouest d'Edmonton, 1982)* – éruption/incendie majeur d'un puits de gaz; 2 décès.
 - *Syncrude (Fort McMurray, 1984)* – incendie d'hydrocarbures dans le Coker 8-2; aucun décès.

Ce qui distingue chacune de ces études de cas des autres est le fait qu'elles fournissent des exemples assez précis pour chaque discipline de génie et domaine de pratique. Toutefois, elles contiennent deux facteurs unificateurs clés. Tout d'abord, chaque incident a entraîné des degrés variés de perte dans les quatre catégories suivantes : les personnes, l'environnement, les biens et la production. Ensuite, tous ces incidents sont caractérisés par la même cause fondamentale. Un

niveau très superficiel de la fragilisation du métal froid a causé l'explosion à Longford, une violation des procédures a causé l'accident à Glenbrook et l'iceberg a fait sombrer le Titanic. La cause profonde de tous ces cas (Hopkins, 2000 et 2005; Wilson et McCutcheon, 2003) est la *gestion inadéquate du risque*. C'est donc dire que tous les ingénieurs peuvent tirer des leçons utiles de chaque étude de cas, peu importe leurs antécédents. L'étude de cas ci-après illustre la validité de cette déclaration.

Westray

*La sécurité des travailleurs n'est pas ma responsabilité, affirme un ancien ingénieur de Westray
(manchette de journal au cours du procès de Westray)*

L'explosion de la mine de charbon Westray a eu lieu le 9 mai 1992 à Plymouth en Nouvelle-Écosse, entraînant la mort de 26 mineurs. Les niveaux de méthane dans la mine étaient régulièrement plus élevés que le permettaient les règlements, une situation causée par la ventilation inadéquate dans la mine. Les concentrations de poussière inflammable étaient aussi plus élevées que les niveaux permis à cause du nettoyage inadéquat de la poussière de charbon et du fait qu'aucune équipe n'était responsable de la schistification (rendre la poussière de charbon inapte à brûler dans du calcaire ou de la dolomite). Ce facteur et plusieurs autres facteurs contribuaient aux mauvaises conditions de travail qui existaient continuellement dans la mine Westray et qui faisait d'elle une bombe à retardement. Toutes ces conditions et pratiques non conformes à la norme peuvent être imputées à l'absence de préoccupation de la part de la gestion à l'égard des problèmes de sécurité dans la mine, qui s'est avérée être l'une des principales causes profondes du problème à Westray.

L'analyse suivante (Goraya et al., 2004) se fie seulement aux références du domaine public, surtout au Rapport de l'Enquête publique sur la mine Westray -- Juge K. Peter Richard, Commissaire (Richard, 1997). Nous utilisons la technique connue comme modèle des causes à l'origine des pertes par réaction en chaîne (Bird et Germain, 1996), qui est un outil utile pour comprendre les causes profondes d'un incident. Cette technique facilite l'identification des causes immédiates et ensuite des causes plus fondamentales qui existent au niveau de la gestion (Amyotte et Oehmen, 2002).

La première étape est de définir l'incident lui-même – une explosion dans la mine Westray, le matin du 9 mai 1992. Ce fait indiscutable indique que le critère du triangle (carburant, oxydant et source d'inflammation) a été satisfait. Richard (1997) explique que la source de carburant était, au début, une accumulation de méthane (à cause de la couche de méthane au plafond de la mine) qui, une fois enflammée, a déclenché une explosion de poussière de charbon à grande échelle. L'oxydant était l'oxygène dans l'atmosphère de la mine. On pose comme hypothèse que la source d'inflammation du méthane était les étincelles causées par le travail continu des mineurs qui frappaient les pyrites ou le grès au front de taille du charbon dans la section sud-ouest de la mine (Richard, 1997).

En quelques secondes, le site Westray s'est métamorphosé de celui illustré à la figure 2 (avant l'explosion) à celui dépeint à la figure 3. Le portail principal numéro 1 illustré à la figure 3 est situé derrière les deux silos en béton illustrés à la figure 2.

L'étape suivante du modèle de l'effet domino consiste à identifier les pertes en tenant compte des catégories des personnes, de l'environnement, des biens et de la production. Les pertes découlant de l'explosion Westray comprennent les suivantes :

- Décès de 26 êtres humains et pertes personnelles énormes des familles des 26 mineurs. Ces pertes sont le legs le plus dévastateur de l'explosion Westray.
- Dommages considérables à l'équipement minier et à la mine elle-même (qui a finalement été volontairement inondée).
- Faillite de la société mère, Curragh Resources. La mine a été fermée parce qu'elle était devenue inexploitable; ceci a supprimé une source supplémentaire de revenus pour la compagnie.
- Défaut de paiement de millions de dollars en prêts des gouvernements provincial et fédéral; millions de dollars en paiement de cessation d'emplois, indemnités d'accident du travail, régime de pension et assurance-emploi.
- Coût de la tenue d'une enquête publique et de la réalisation d'une enquête criminelle approfondie et des procès impliquant la mine et les gestionnaires souterrains.
- Perte pour la Nova Scotia Power (service public d'électricité) d'environ 700 000 tonnes de charbon de Westray.

Le modèle de l'effet domino identifie ensuite les causes immédiates. Ces dernières, comme le terme le sous-entend, sont les facteurs qui précèdent immédiatement et qui mènent donc à un incident. Elles peuvent être divisées dans les catégories de pratiques non conformes à la norme et de conditions non conformes à la norme, qui, dans le cas de Westray, comprennent les suivantes :

- ***Pratiques non conformes à la norme :***
 - Mauvais services généraux touchant le nettoyage et l'enlèvement de la poussière de charbon.



Figure 2 Vue aérienne (avant l'explosion) du site de la mine Westray (de Richard, 1997).



Figure 3 Dommage au portail de la mine principale de charbon no 1 Westray (de Richard, 1997).

- Entreposage de véhicule de carburant et de remplissage de carburant dans des endroits non résistants au feu.
- Utilisation inadéquate du système de ventilation (p. ex., détournement de la circulation d'air au détriment des mineurs).
- Application inadéquate de poussière de pierre (un inhibiteur d'explosion thermique).
- Poursuite de l'exploitation minière malgré les appareils impraticables de détection du méthane.
- **Conditions non conformes à la norme :**
 - Concentrations élevées de méthane.
 - Couches épaisses de poussière de charbon sur le sol de la mine, ayant un niveau élevé de matière combustible.
 - Conception et capacité inadéquates du système de ventilation.
 - Concentrations élevées de poussière de charbon en suspension dans l'air.
 - Système inadéquat d'avertissement pour les concentrations élevées de méthane dans la mine.

L'autre série de causes du modèle est connue comme causes de base, qui sont les causes sous-jacentes ou fondamentales de l'existence des causes immédiates. Elles sont réparties en deux grandes catégories – les facteurs personnels et les facteurs liés au travail. Dans le cas de Westray, ces facteurs comprennent ce qui suit :

- **Facteurs personnels :**
 - Stress physiologique causé par la surexposition au méthane et la fatigue à cause des quarts de travail de 12 heures.
 - Manque d'expérience de l'exploitation minière du personnel travaillant dans la mine.
 - Manque de connaissances des pratiques sécuritaires du travail souterrain.
 - Motivation inadéquate par laquelle la production a continué au détriment de la sécurité.
 - Stress psychologique dû à la peur des représailles pour le rapport des inquiétudes en matière de sécurité.
- **Facteurs liés au travail :**
 - Suivi inadéquat des recommandations du personnel d'inspection de la mine.
 - Ingénierie inadéquate au cours de la conception et de la planification de la mine en ce qui a trait aux expositions possibles aux pertes (p. ex., ventilation de la mine; lignes de faille géologique intersectées entraînant des éboulements fréquents).
 - Absence de pratiques et procédures sécuritaires de travail.
 - Acquisition et entretien inadéquats de l'inventaire de poussière de pierre.
 - Leadership inadéquat en termes d'affectation de responsabilité (p. ex., responsabilités d'inspecteur de la mine et de superviseur de la production assumées par la même personne).
 - Manque d'orientation et de formation adéquates pour les nouveaux employés.
 - Mauvaise communication des normes (p. ex., au sujet des rôles et des responsabilités des comités de la santé et de la sécurité au travail).

L'étape finale du modèle est de chercher la preuve du lien de causalité au niveau de gestion de la compagnie; en fait, de chercher les lacunes du système de gestion qui permettent l'existence des causes immédiates et fondamentales. Le modèle de l'effet domino aide l'identification de l'absence de facteurs de contrôle de gestion dans trois domaines : le programme de gestion des pertes ou le système lui-même, les normes identifiées et établies pour le programme de gestion des pertes, et le degré de conformité par rapport à ces normes. Comme nous l'avons décrit dans les sections précédentes du document, les systèmes de gestion de la sécurité, les normes et le respect des normes sont tous des concepts clés du processus de gestion du risque – c.-à-d., l'identification des dangers, l'analyse et l'évaluation du risque et la mise en oeuvre de mesures d'atténuation du risque et de surveillance du risque.

Le niveau final de l'analyse de l'incident est ensuite une recherche structurée des lacunes de la gestion du risque qui, dans le cas de Westray, a englobé les éléments suivants :

- ***Éléments de programme inadéquats :***
 - Engagement et imputabilité de la gestion à l'égard des affaires de sécurité.
 - Procédures de gestion des changements.
 - Enquêtes sur les incidents (y compris la production de rapports et les enquêtes sur les accidents évités de justesse).
 - Formation (orientation, sécurité, liée à la tâche, etc.).
 - Définition de la tâche et pratiques et procédures de travail sécuritaire.
 - Inspections du lieu de travail et méthodologies plus détaillées pour l'identification des dangers.
 - Évaluation de programme et vérifications.
- ***Normes de programme inadéquates :***
 - Inquiétude exprimée par la gestion à l'égard des affaires de sécurité.
 - Suivi des inspections pour les pratiques et conditions non conformes aux normes.
 - Suivi pour les rapports sur les dangers soumis par les employés.
 - Consignes de travail pour les employés.
 - Entretien de l'équipement.
 - Convocation de réunions entre la gestion et les employés pour discuter des préoccupations au niveau de la sécurité.
- ***Facteurs de conformité inadéquats :***
 - Corrélation entre les actions de la gestion et la politique officielle de la compagnie au sujet du lien entre la sécurité et la production.
 - Conformité à la pratique de l'industrie et aux normes légiférées au sujet de nombreux aspects de l'exploitation du charbon : concentrations de méthane, poussière de pierre, contrôle des sources d'inflammation souterraines, etc.

L'industrie de l'exploitation du charbon et les ingénieurs des mines peuvent clairement retenir des leçons de Westray : des rappels de l'importance notamment de la schistification et de la ventilation souterraine. Ces rappels sont de nature technique et pourraient sembler voir peu d'application dans d'autres domaines de la pratique et disciplines de l'ingénierie, autre peut-être que par un prolongement dans le domaine des techniques de répression des explosions et d'atténuation comme la ventilation de secours. Toutefois, les leçons les plus importantes tirées

de l'incident de Westray sont celles qui transcendent les limites industrielles et qui sont liées aux principes fondamentaux de la gestion du risque.

Ces leçons se retrouvent dans les défaillances dans la gestion du risque identifiées précédemment. Ces défaillances indiquent clairement la nécessité de porter une attention tant au point de vue du *système* qu'à celui de l'*attitude* (ou de la *culture*). Un *système* de gestion du risque – mis en oeuvre, soutenu et exécuté par le personnel de gestion – est absolument essentiel. La seule *attitude* acceptable à l'égard de la sécurité industrielle – tant moralement, et dans le cas de la Nouvelle-Écosse actuelle, légalement – est exprimée par le système de responsabilité interne ou le SRI. Ce concept, qui est le fondement de la législation en matière de santé et de sécurité au travail au Canada, précise que chaque personne à l'intérieur d'une organisation, est responsable de la santé et de la sécurité. La responsabilité première incombe à chaque personne (gestionnaire, superviseur, employé, conseiller, etc.) dans la mesure de son autorité et habileté à assurer un milieu de travail sain et sécuritaire. Dans les termes de Hopkins (2005), le SRI vise à faciliter la *conscience du risque* dans une compagnie. C'est clairement une leçon qui s'adresse à *tous* les ingénieurs.

RECOMMANDATIONS À L'INTENTION DE LA PROFESSION D'INGÉNIEUR AU CANADA

En se basant sur l'analyse du présent document, nous présentons les suggestions suivantes pour faire avancer l'état de l'éducation, de la formation et de la pratique de la gestion du risque par les ingénieurs au Canada :

- **Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie (BCAPI) :**
 - Évaluer la possibilité d'ajouter, dans la version révisée des normes d'accréditation, la gestion du risque comme compétence nécessaire du diplômé.
 - Évaluer la possibilité d'élaborer des questions précises et des outils de mesure sur la gestion du risque à l'intention des équipes de visiteurs en accréditation.
- **Bureau canadien des conditions d'admission en génie (BCCAG) :**
 - Évaluer la possibilité d'élaborer un *Guide national sur la gestion du risque à l'intention de tous les ingénieurs*, un concept semblable au *Guide national actuel sur l'environnement et le développement durable à l'intention de tous les ingénieurs* (pour faire valoir que la gestion du risque est un domaine de connaissance pour *tous* les ingénieurs).
 - Évaluer la possibilité de développer des documents qui sont plus détaillés qu'un guide national; ces documents seraient axés sur la pratique et fourniraient les méthodologies exemplaires pour des utilisations précises dans la pratique.
- **Conseil canadien des ingénieurs (CCI) :**
 - Évaluer la possibilité d'organiser un atelier national sur la gestion du risque, un concept semblable à celui de l'atelier national organisé par le CCI sur l'adaptation aux changements climatiques.
 - Évaluer la possibilité d'instaurer des mécanismes pour permettre aux ingénieurs canadiens de profiter des initiatives internationales touchant la formation sur la gestion du risque et le développement de méthodologies pour la pratique.

- ***Membres constituant (MC) du CCI :***
 - Évaluer la possibilité de participer à un sondage du CCI auprès de ses MC au sujet des activités de gestion du risque et des besoins des MC et de ses membres. Ce sondage pourrait faire partie de consultations plus élargies menées par le CCI auprès des MC.
- ***Conseil canadien des doyens d'ingénierie et des sciences appliquées (CCDISA) :***
 - Évaluer la possibilité d'effectuer un sondage auprès des facultés de génie au Canada au sujet de cours et programmes en gestion du risque et de l'intégration des concepts à l'intérieur du programme. Tant les présentations offertes au premier cycle que celles offertes au deuxième cycle seraient des renseignements utiles à connaître.
- ***Sociétés techniques de génie :***
 - Évaluer la possibilité de participer à un sondage auprès des sociétés techniques de génie au Canada au sujet des outils, cours, études de cas et autres produits et services offerts par l'intermédiaire sur la gestion du risque.
- ***Comité de recherche (CR) du CCI :***
 - Évaluer la possibilité de coordonner les activités mentionnées plus haut (p. ex., sondages), le cas échéant.

Ces recommandations sont suggérées, dans la plupart des cas, avec peu de connaissances au sujet du plan de travail actuel de ces organisations. Peut-être qu'une suggestion trop précise exigerait trop de travail de la part du groupe identifié ou que la recommandation ne s'inscrit pas dans le mandat du groupe. Même si c'est le cas, nous pensons que l'essentiel de la recommandation demeure quand même valable.

MOTS DE LA FIN

Nous avons tenté de démontrer que tous les ingénieurs doivent connaître le domaine de la gestion du risque. Il existe déjà des activités importantes en cours au sein de l'industrie, du gouvernement et des universités au Canada. Nous pensons qu'on doit et qu'il faut en faire plus. Des initiatives importantes sur la gestion du risque sont aussi en cours dans d'autres pays et les ingénieurs du Canada pourraient en profiter.

Nous avons présenté plusieurs recommandations que d'autres organisations peuvent évaluer dans le but de faire avancer les études, la formation et les compétences de la pratique de la gestion du risque au Canada. Nous sommes personnellement prêts à fournir notre aide dans le cadre de ce processus et nous sommes convaincus que nos collègues qui s'intéressent aux études et à la pratique de la gestion du risque seraient aussi disposés à collaborer.

RÉFÉRENCES

- Alp, E. (2000), *Communication personnelle*.
- Amyotte, P.R. (2004), A meeting of the minds. *Canadian Chemical News*, **56** (2), 14-15.
- Amyotte, P.R. (2005), CSChE-PSM summer institute – round two, *Canadian Chemical News*, **57** (8), 34-35.
- Amyotte, P.R. et McCahill, P. (2004), A meeting of the minds – part 2: report on the 2004 CSChE-PSM summer institute, *Canadian Chemical News*, **56** (9), 27-31.
- Amyotte, P.R. et Oehmen, A.M. (2002), Application of a loss causation model to the Westray mine explosion, *Process Safety and Environmental Protection*, **80**, 55-59.
- APENS (1989), *Canons of Ethics for Engineers*, Appendix to By-Laws, The Nova Scotia Engineering Profession Act, Halifax, NS, Association of Professional Engineers of Nova Scotia.
- BCAPI (2005), *Normes et procédures d'accréditation*, Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie, Ottawa, ON, Conseil canadien des ingénieurs.
- Bird, F. E. et Germain, G.L. (1996), *Practical Loss Control Leadership*, Loganville, GA, Det Norske Veritas.
- CCPS (2001), *Making EHS an Integral Part of Process Design*, New York, NY, American Institute of Chemical Engineers.
- Crowl, D.A. et Louvar, J.F. (2002), *Chemical Process Safety – Fundamentals with Applications*, 2^e édition, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall PTR.
- CRSNG (2005), *Vers un plan directeur pour la formation des ingénieurs-concepteurs : la compétence en conception*, version 7.0 (21 février 2005), CRSI CRSNG, (Chaires de conception en ingénierie et de conception environnementale en ingénierie, Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie).
- Dahoe, A.E. et Molkov, V.V. (2005), *Towards Hydrogen Safety Education and Training*, University of Ulster, UK (copie personnelle communiquée par A.E. Dahoe).
- ETPIS (2005), *Safety for Sustainable European Industry Growth: Strategic Research Agenda*, Version provisoire 4, European Technology Platform on Industrial Safety.
- ETPIS (2006), *European Technology Platform on Industrial Safety*, www.industrialsafety-tp.org (13 février 2006).

- Friesen, M., Taylor, K.L. et Britton, M.G. (2005), A qualitative study of a course trilogy in biosystems engineering design, *Journal of Engineering Education*, **94**, 287-296.
- Goraya, A., Khan, F.I. et Amyotte, P.R. (2004), An inherent-safety based incident investigation methodology, *Process Safety Progress*, **23**, 197-205.
- GSP (2006), *Division de la gestion de la sécurité des procédés, Société canadienne de génie chimique*, www.cheminst.ca/divisions/psm/index.htm (13 février 2006).
- Hopkins, A. (2000), *Lessons from Longford: The Esso Gas Plant Explosion*, Sydney, CCH Australia Limited.
- Hopkins, A. (2005), *Safety, Culture and Risk*, Sydney, CCH Australia Limited.
- Horwood, J. (2005), *Communication personnelle*.
- HySafe (2006), *Safety of Hydrogen as an Energy Carrier*, www.hysafe.org (13 février 2006).
- IEEE (2006), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, www.ieee.com (13 février 2006).
- IRM (2006), *Institute of Risk Management*, www.theirm.org (13 février 2006).
- IRMI (2006), *International Risk Management Institute*, www.irmi.com (13 février 2006).
- Khan, F.I. et Amyotte, P.R. (2003), How to make inherent safety practice a reality, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, **81**, 2-16.
- Lacoursière, J.-P. (2003), *Communication personnelle*.
- Lacoursière, J.-P. (2005a), Bhopal and its effects on the Canadian regulatory framework, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **18**, 353-359.
- Lacoursière, J.-P. (2005b), *Communication personnelle*.
- Lapp, D. (2005), Engineers and climate change: what you need to know, *Engineering Dimensions*, **26** (2), 51-53 (Professional Engineers Ontario).
- Mastromatteo, M. (2005), Brownfields: waiting for the other shoe to fall?, *Engineering Dimensions*, **26** (2), 54-57 (Professional Engineers Ontario).
- NAE (2005), *Educating the Engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century*, National Academy of Engineering of the National Academies, Washington, DC, National Academies Press.
- PMI (2006), *Project Management Institute*, www.pmi.org (13 février 2006).

Richard, Justice K.P. (1997), *The Westray Story – A Predictable Path to Disaster*, Report of the Westray Mine Public Inquiry, Halifax, NS, Province of Nova Scotia.

SCGC (2006), *Société canadienne de génie civil*, www.csce.ca (13 février 2006).

SCGM (2006), *Société canadienne de génie mécanique*, www.csme-scgm.ca (13 février 2006).

Shrives, J. (2004), Environment Canada's new environmental emergency regulations, *Canadian Chemical News*, **56** (2), 17-21.

Stelmakowich, A. (2004), Dutifully yours, *OHS Canada*, **20** (1), 34-39.

Wilson, L. (1998), *Basic Learnings in Industrial Safety and Loss Management*, Edmonton, AB, Association of Professional Engineers, Geologists and Geophysicists of Alberta.

Wilson, L. et McCutcheon, D. (2003), *Industrial Safety and Risk Management*, Edmonton, AB, University of Alberta Press.