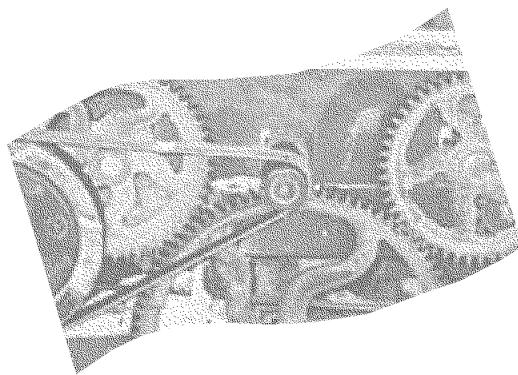


Bilan raisonné des outils d'appréciation des risques associés aux machines industrielles



ÉTUDES ET RECHERCHES

Joseph-Jean Paques
François Gauthier
Alejandro Pérez
Philippe Charpentier
Pascal Lamy
Roger David

R-459

RAPPORT





Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent pour vous !*

MISSION

- ▶ Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- ▶ Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- ▶ Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.

www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.

Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2006

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
mai 2006

Bilan raisonné des outils d'appréciation des risques associés aux machines industrielles

Joseph-Jean Paques,
Service de la recherche, IRSST

François Gauthier et Alejandro Pérez,
Département de génie industriel, UQTR

Philippe Charpentier et Pascal Lamy,
Institut national de recherche et de sécurité, Nancy

Roger David, Caisse régionale d'assurance maladie de l'île de France, Paris

ÉTUDES ET RECHERCHES

RAPPORT

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

**Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.**

SOMMAIRE

Les situations dangereuses associées aux machines ont entraîné des accidents graves dans les industries du Québec. Afin de réduire ces situations dangereuses, les machines doivent être conçues ou modifiées en intégrant des moyens de réduction du risque. Sans faire une analyse de risque précise, il est difficile de choisir des moyens de réduction du risque optimisés. Comme les outils d'analyse de risque adaptés aux machines dangereuses se présentent sous des formes très diverses, il n'est pas facile de choisir lequel est le mieux adapté aux besoins de chaque entreprise qui veut s'engager dans une telle démarche; de plus, actuellement, des nouvelles formes d'outils d'estimation ou d'évaluation des risques associés aux machines industrielles sont proposées régulièrement. Dans le cadre d'une programmation thématique destinée à poser les bases de connaissances sur le thème des processus d'appréciation des risques associés aux machines industrielles, ce projet a recensé et commencé à classer les méthodes et outils disponibles à cette fin.

Deux cent soixante-quinze documents mentionnant des méthodes ou outils d'appréciation des risques industriels ou associés aux machines dangereuses ont été collectés. Après analyse de ces documents, cent douze documents ont été retenus et codés dans une base de données relationnelle définie à l'aide du logiciel Access. Cent huit méthodes ou outils appliqués ou applicables aux risques associés aux machines dangereuses ont été codées, classées et analysées à partir de formulaires établis à l'avance. Une double codification indépendante a été effectuée pour réduire les risques d'erreur de codification.

Cette analyse a permis de classer sur le plan théorique les outils d'estimation ou d'évaluation des risques étudiés et d'en identifier les éléments communs ou particuliers. Plusieurs grandes familles d'outils d'estimation ou d'évaluation des risques associés aux machines industrielles ont été identifiées. L'analyse détaillée des divers paramètres et constituantes des méthodes et outils a montré une très grande diversité qui explique en partie les difficultés de choix, d'utilisation et de comparaison des résultats.

Une meilleure connaissance théorique des outils, associée avec le résultat de l'étude des pratiques d'analyse de risque en usage au Québec, permettra de poser des bases pour identifier de quelles façons les besoins des industries du Québec pourront être satisfaits et quels aspects devraient faire l'objet de recherches particulières. À long terme, on considère que l'utilisation, par les PME du Québec, d'outils optimisés d'appréciation des risques associés aux machines dangereuses permettra d'identifier les risques qui y sont associés et qu'une meilleure connaissance des risques permettra de mettre en place des moyens de prévention mieux adaptés et de réduire les accidents associés aux machines dangereuses.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier deux chercheurs qui nous ont précédés dans ce domaine et, ce faisant, ont facilité notre travail de recherche approfondie : il s'agit de madame Nicola Worsell et de monsieur Bruce Main dont les travaux ont contribué à poser des jalons de premier choix pour nos recherches dans le domaine de l'appréciation des risques associés aux machines industrielles.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION	1
2. PROBLÉMATIQUE.....	3
2.1 <i>Diversité des outils</i>	3
2.2 <i>Validité des outils</i>	6
2.3 <i>Programmation thématique sur les méthodes et outils d'appréciation du risque machine</i>	7
3. OBJECTIFS DU PROJET	9
4. MÉTHODE.....	11
5. RÉSULTATS.....	15
5.1 <i>Répartition selon la nature des documents</i>	15
5.2 <i>Répartition des méthodes et outils selon leur utilisation</i>	15
5.3 <i>Nature des méthodes et outils analysés</i>	17
5.4 <i>Caractéristique des paramètres utilisés</i>	18
5.5 <i>Terminologie utilisée pour les paramètres</i>	21
5.6 <i>Terminologie utilisée pour qualifier le risque estimé ou évalué</i>	23
5.7 <i>Répartition du nombre de niveaux de risque</i>	23
6. DISCUSSION.....	25
6.1 <i>Diversité des documents analysés et leur usage</i>	25
6.2 <i>Diversité de la nature des outils</i>	26
6.3 <i>Les grandes familles de méthodes et outils</i>	26
6.4 <i>Diversité de la terminologie</i>	27
6.5 <i>Prospective pour les futurs projets de recherche</i>	28
7. CONCLUSION.....	29
8. RÉFÉRENCES	31

	Page
ANNEXE A : CODAGE DES DOCUMENTS ET MÉTHODES	35
ANNEXE B CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES SELON LEUR DÉFINITION	39
ANNEXE C : COMPLÉMENT AUX RÉSULTATS DE NATURE TERMINOLOGIQUE.....	42

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Répartition des documents codés selon le type de document	15
Tableau 2 : Public visé par les méthodes et outils	15
Tableau 3 : Objectifs d'utilisation des méthodes	16
Tableau 4 : Répartition des méthodes et outils selon les phases de la machine	16
Tableau 5 : Répartition des méthodes et outils selon les types d'application.....	17
Tableau 6 : Répartition des méthodes et outils selon le type d'outil de détermination du risque.....	17
Tableau 7 : Répartition des méthodes et outils selon les 6 familles identifiées.....	17
Tableau 8 : Répartition des méthodes et outils selon les paramètres utilisés	18
Tableau 9 : Nombre de paramètres par méthodes et outils analysés	18
Tableau 10 : Variation de la quantité de seuils pour chaque paramètre	19
Tableau 11 : Répartition et définition des paramètres mentionnés.....	20
Tableau 12 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre gravité	21
Tableau 13 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence d'exposition.....	21
Tableau 14 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre durée d'exposition.....	21
Tableau 15 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence et durée.....	21
Tableau 16 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence et durée sans précision.....	22
Tableau 17 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre probabilité d'occurrence du dommage.....	22
Tableau 18 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre probabilité d'occurrence d'événement dangereux	22
Tableau 19 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre possibilité d'évitement.....	22
Tableau 20 : Termes utilisés et répartition pour les autres paramètres.....	23
Tableau 21 : Termes utilisés et répartition pour l'appellation des niveaux de risque.....	23
Tableau 22 : Répartition des méthodes et outils selon le nombre de niveaux de risque (évaluation)	24

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Gestion simplifiée de la réduction des risques	5

1. INTRODUCTION

Les situations dangereuses associées aux machines ont entraîné des accidents graves dans les industries du Québec. La CSST vient récemment de reconnaître l'importance du problème en priorisant la sécurité des machines dans le cadre du plan d'action en établissement [1] et en publiant un dossier sur la sécurité des machines [2].

Afin de réduire ces situations dangereuses, les machines doivent être conçues ou modifiées en intégrant des moyens de réduction du risque. Sans faire une analyse de risque précise, il est difficile de choisir des moyens de réduction du risque optimisés. Comme les outils d'analyse de risque adaptés aux machines dangereuses se présentent sous des formes très diverses, il n'est pas facile de choisir lequel est le mieux adapté aux besoins de chaque entreprise qui veut s'engager dans une telle démarche; de plus, actuellement, des nouvelles formes d'outils d'estimation ou d'évaluation des risques associés aux machines industrielles sont proposées régulièrement.

En vue de former les intervenants du Québec à une telle démarche, des formations sur l'appréciation du risque machine ont été mises sur pied et présentées par l'IRSSST. Un projet spécifique [3] a permis de former des relayeurs qui ont à leur tour présenté ces formations dans des entreprises du Québec. C'est ainsi que plus de 560 personnes ont été rejointes au cours des 16 sessions de sensibilisation présentées par les relayeurs du projet.

Au-delà de l'intérêt que ces formations suscitent et de l'analyse de ces formations qui démontre que plusieurs participants transfèrent certains aspects de ces formations dans leur pratique [4], des questions ont été révélées aussi durant ces formations. Il est en effet ressorti que les besoins des entreprises du Québec, principalement des PME, peuvent varier de façon importante et qu'une méthode ou un outil utilisé avec succès dans une usine ne corresponde pas nécessairement aux besoins d'une autre usine. Il est probable que la diversité des variantes des outils disponibles pour effectuer la phase d'estimation du risque s'explique par les besoins différents ressentis d'une usine à une autre.

Une série de projets de recherche a été proposée dans une programmation sur les méthodes et outils d'appréciation des risques associés aux machines industrielles; ces projets serviront à en identifier, comparer et définir des critères d'utilisation. Le présent rapport décrit le premier de cette série de projets.

1 Plan d'action en établissement sur la sécurité des machines, L'Hyperlien, CSST, février 2005.

2 André Lachance, Les machines dangereuses ont trouvé leurs maîtres, Prévention au travail, vol. 16, n° 3, p. 7-14, été 2003.

3 Transfert de compétences en formation sur la gestion de la sécurité des machines et les moyens de protection, (099-216). Projet IRSSST, 2002-2004.

4 Lane, J., Tardif, J., Bourbonnière, R., Educational approaches to promote in order to favour the transfer of competencies in risk assessment and protective devices training. In J. Ciccotelli (dir.), 3rd International Conference : Safety of Industrial Automated Systems, Nancy (France), octobre 2003.

2. PROBLÉMATIQUE

2.1 Diversité des outils

Au Québec, quelques entreprises utilisent une démarche structurée d'analyse des risques pour améliorer la santé et la sécurité de leurs milieux de travail. La CSST encourage les entreprises à utiliser une approche de réduction des risques supportée par une analyse des risques. Cette approche est une pratique en vigueur depuis plusieurs années pour des risques bien particuliers tels que, entre autres, les risques toxicologiques qui ont conduit au développement et l'application du SIMDUT; les risques ergonomiques peuvent être également bien détectés grâce aux analyses ergonomiques de poste de travail pour lesquels plusieurs méthodes et outils ont été développés pour les groupes Ergo [5] par exemple.

On observe également dans certaines industries du Québec, une tendance à inclure l'analyse de tous les risques associés à un environnement industriel, y compris les risques directement associés à l'utilisation de machines, dans une démarche de certification intégrée de Santé et Sécurité du Travail comme la certification OHSAS 18001 [6, 7]. Dans le monde des risques associés aux machines elles-mêmes, en dehors des procédures de cadenassage, peu d'outils et de directives précises pour analyser les risques, en général d'ordre mécanique, sont disponibles pour les entreprises du Québec. En effet, seules quelques grandes corporations ont investi dans les ressources nécessaires pour développer des outils systématiques d'analyse des risques associés aux machines dangereuses; il est toutefois difficile de pouvoir accéder directement à ces outils qui sont souvent considérés comme essentiels pour la stratégie de gestion interne de la compagnie et donc de nature confidentielle.

Les démarches d'analyse des risques associés aux machines industrielles dangereuses sont, en général, basées sur la norme internationale ISO 12100-1 [8], selon les principes énoncés également dans la norme canadienne [9]. Toutefois, certaines particularités d'application ont justifié qu'au niveau international, des normes pour effectuer une démarche d'appréciation et de réduction des risques associés aux machines dangereuses industrielles aient été développées. Les principes de base sont indiqués dans certaines normes traitant de l'analyse des risques associés aux machines dangereuses [10][11] ou dans certaines normes ayant un objet différent mais dans

5 Marie St Vincent, Georges Toulouse, Marie Bellemare Démarches d'ergonomie participative pour réduire les risques de troubles musculo-squelettiques : bilan et réflexions, Pistes, Montréal, vol. 2, n° 1, mai 2000.

6 Management de la santé et de la sécurité au travail, Association française de normalisation, AFNOR, Paris, 324 p. 2003 (NO-002610).

7 OHSAS: 18002: Occupational health and safety management systems : guidelines for the implementation of OHSAS 18001, British Standards Institution, BSI, London, 52 p. , 2000 (NO-002635).

8 Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1: Terminologie de base, méthodologie, norme internationale, ISO 12100-1 : 2003.

9 Exigences et guide pour l'analyse des risques, Association canadienne de normalisation. ACN/CSA-Q634-91, 1991.

10 Sécurité des machines, Principes pour l'appréciation du risque, norme internationale, ISO 14121 :1999.

lesquelles une analyse des risques associés à des machines dangereuses peut ou doit être faite [12] [13][14].

Dans la pratique, les outils disponibles d'appréciation du risque sont nombreux et présentent une assez grande variabilité de formes et de résultats. Au Québec, la CSST, conjointement avec l'IRSST, a publié un aide-mémoire sur la sécurité des machines [15] qui propose une méthode d'analyse des risques associés aux machines dangereuses, utilisant un graphe pour l'estimation du risque. L'utilisation de cet aide-mémoire requiert cependant une formation spécialisée. D'autres guides ont été aussi proposés à l'étranger, soit, entre autres, en France [16], en Suisse [17], en Europe [18], en Suède [19] et [20], en Angleterre [21], aux États-Unis [22]. Certains outils qui proposent une structure complète d'analyse et de réduction des risques sont inclus dans les logiciels spécialisés [23] [24] [25].

En Europe, aux États-Unis et au Canada, des outils sont proposés par les organismes concernés par la sécurité des machines industrielles; certaines entreprises ont mis sur pied leurs propres

-
- 11 ANSI Technical Report for Machine Tools – Risk Assessment and Risk Reduction – A Guide to Estimate, Evaluate and Reduce Risks Associated with Machine Tools. American National Standard, ANSI B11.TR3: 2000.
 - 12 CAN/CSA-ISO/TS 14798-F01: Ascenseurs, escaliers mécaniques et trottoirs roulants - Méthodologie de l'analyse du risque (Spécification technique ISO/TS 14798:2000, première édition, 2000-11-01).
 - 13 Sécurité fonctionnelle: systèmes relatifs à la sécurité, parties 1 à 7, Commission Électrotechnique Internationale, Comité technique n° 65: Mesure et contrôle du procédé industriel, IEC 61508-1/7, 1998.
 - 14 Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1: Principes généraux de conception. International Standards Organisation. Norme internationale ISO 13849-1, 1996.
 - 15 Sécurité des machines, Phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, DC 900-337 (07-02), 2002.
 - 16 Sécurité des équipements de travail, Guide pour l'analyse des risques et le choix des mesures de prévention, CRAMIF, DTE 127, septembre 2000.
 - 17 Forsblom-Pärli, U., Méthode Suva d'appréciation des risques à des postes de travail et lors de processus de travail, Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, référence 66099.f, octobre 2001.
 - 18 Calculez vous-même vos risques d'accident! – Appréciation du risque mécanique au poste de travail, Comité "Sécurité machine" de l'Association Internationale de Sécurité Sociale, No. 2034 (F), 35 p., 1998.
 - 19 Johnny Persson, Risk Assessment and Risk Reduction, Presentation to the first meeting of ISO/TC 199/WG 5, janvier 2003.
 - 20 Hasse Sjöström, Machine Safety Analysis, Presentation to the first meeting of ISO/TC 199/WG 5, janvier 2003.
 - 21 Nicola Worsell, HSL presentation on risk assessment, Presentation to the first meeting of ISO/TC 199/WG 5, janvier 2003.
 - 22 Safe Book 2 Machinery Safety Safeguarding and Protective Measures Legislation, Theory and Practice, Scientific Technologies Inc., California, 1998.
 - 23 Risk Assessor, Safety Media, United Kingdom, Logiciel, 2003.
 - 24 Méthode Suva d'appréciation des risques à des postes de travail et lors de processus de travail, Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, Logiciel, 2002.
 - 25 Robot Risk Assessment, Robotic Industries Association, Logiciel, 1999.

méthodes et outils d'analyse. Toutes ces démarches sont basées sur les mêmes principes illustrés à la figure 1, dérivée de la norme internationale ISO 12100-1 [26].

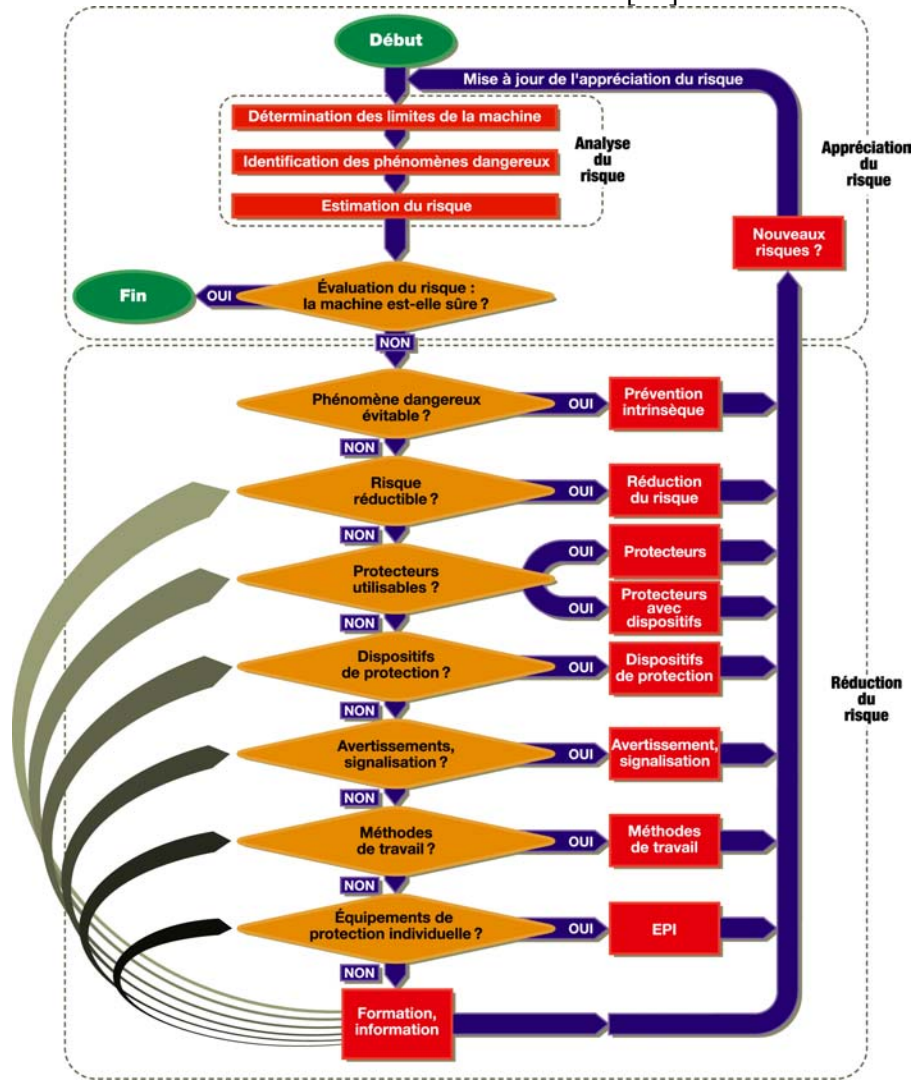


Figure 1 : Gestion simplifiée de la réduction des risques (extrait de 27)

Face à une telle diversité, les préventionnistes du Québec, dont le nombre peut être estimé à environ 2 600 personnes, qui désirent accomplir une analyse des risques associés aux machines dangereuses se trouvent démunis pour choisir et appliquer une méthode optimale qui apporte des résultats utiles avec un minimum d'efforts; ces choix sont encore plus difficiles pour les PME du Québec qui ne disposent que de peu ou pas de ressources dans ce domaine.

26 Sécurité des machines. Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1: Terminologie de base, méthodologie, norme internationale, ISO 12100-1 : 2003.

27 Sécurité des machines. Phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, DC 900-337 (07-02), 2002.

2.2 Validité des outils

Une enquête terrain (28) auprès de 21 personnes, ayant une expérience en analyse de risques, a permis de recueillir des données sur les pratiques d'analyse de risques en usage dans différentes entreprises québécoises; en particulier, des difficultés ont été rapportées par rapport à la complexité des concepts, à la difficulté d'établir des consensus par rapport aux critères, aux risques autres que les risques associés aux machines et à l'absence de normes nationales ou internationales par rapport aux dispositifs de réduction des risques.

Il est également ressorti, lors de l'analyse de certaines formations données par l'IRSST et par ses partenaires, que les résultats d'une démarche d'appréciation des risques effectuée à partir d'une même machine, incluant l'identification et l'estimation des risques, par différents sous-groupes, peuvent présenter des différences importantes d'un groupe à l'autre au niveau de l'estimation de l'indice des risques de certaines des activités ou sous-activités de la machine. Une certaine variabilité des résultats peut être jugée « naturelle » selon Parry (29) donc tolérable, mais un trop grande dispersion peut entraîner éventuellement une mauvaise estimation des mesures de réduction des risques.

Dans les différents pays européens, les experts s'intéressant aux démarches d'appréciation et des risques arrivent au même constat :

« Les méthodes d'appréciation des risques d'une machine utilisées dans les différents pays européens, quand elles existent, peuvent conduire à des résultats différents, voir contradictoires. Dans certains cas, elles peuvent potentiellement conduire, pour une même machine, à requérir des niveaux de sécurité différents,... » (30)

Abrahamsson (31) critique, lui aussi, sévèrement le problème de validité des outils existants en soulignant que ces derniers en viennent ainsi souvent à être perçus, par les utilisateurs potentiels, comme peu crédibles ou inutilisables.

Ces questionnements face à la validité des outils d'appréciation des risques sont étonnamment récents. En effet, la multiplication des outils produits pendant ces dernières années s'est faite, à peu d'exceptions près (32), sans démarche particulière de validation selon des critères précis. L'expérience accumulée lors des formations données au Québec indique que, malgré les attentes

28 Claude Gaudet, Un état de la situation par rapport aux pratiques d'analyse de risque en usage (Les processus d'appréciation des risques associés aux machines industrielles), Rapport synthèse de Forma Change inc., projet 099-399 L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 2004.

29 Parry, G.W., Uncertainty in PRA and its implications for use in Risk-informed decision making. Proceedings of the 4th International conference on probabilistic safety assessment and management, PSAM 4, Edited by Mosleh, A. & Bari, R.A., New York, 1998.

30 Charpentier, P., Projet européen RAMSEM- Développement et validation d'une méthode d'appréciation du risque machine basée sur les principes de la norme EN 1050. Projet A.5/1,058 de l'INRS, 2003.

31 Abrahamsson, M., Uncertainty in quantitative risk analysis-characterisation and methods of treatment. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, Sweden, 2002.

32 Clemens, P. L., Simmons, R. J., System safety and risk management, A guide for Engineering Educators, Lesson II Risk assessment matrix, NIOSH Instructional Module, U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio, March 1998.

des milieux de travail, la démarche d'analyse des risques associés aux machines industrielles est complexe et que plusieurs variables peuvent venir influencer l'estimation adéquate des indices de risque de chacune des activités ou sous-activités d'une machine.

Deux revues bibliographiques importantes sur les outils d'appréciation des risques ont été publiées récemment; l'une d'elles s'adresse à toutes les sortes de risques techniques (33) et l'autre est concentrée sur les risques associés aux machines industrielles (34). Ces études font un bilan des méthodes et outils d'appréciation du risque, sans toutefois approfondir les performances de chaque méthode ni établir leur fiabilité inter et intra observateurs.

Étonnamment aucune recherche, à notre connaissance, ne s'est attardée à valider un ou des outils d'appréciation des risques dans le domaine de la sécurité des machines, et ce, tout en tentant d'identifier les variables qui peuvent venir influencer l'estimation adéquate des indices de risque d'une machine. Nous avons seulement identifié les travaux de Abrahamsson (31) qui a tenté de valider divers outils d'appréciation des risques (s'appliquant à différents contextes mais plus particulièrement au contexte de travail de contacts avec des substances chimiques), mais ce dernier se centre exclusivement sur l'analyse des variables reliées à l'outil d'appréciation des risques (le modèle, les paramètres, ...) n'analysant pas d'autres variables pouvant venir moduler une estimation adéquate des risques d'une machine (variable provenant de la formation préalable, variables provenant des caractéristiques individuelles de la personne qui effectue l'analyse,...).

2.3 Programmation thématique sur les méthodes et outils d'appréciation du risque machine

Une programmation thématique de projets de recherche a été proposée et approuvée par le Comité scientifique de l'IRSSST à l'automne 2004; ces projets doivent permettre d'apporter des réponses aux questions générales suivantes :

1. Quelles sont les différentes méthodes d'appréciation des risques associés aux machines dangereuses utilisées en industrie (au Québec et ailleurs)?
 - Les méthodes proposées d'appréciation des risques associés aux machines dangereuses aident-elles à établir une image objective des situations observées?
 - Quels sont les critères à utiliser pour choisir une méthode d'appréciation des risques associés aux machines dangereuses?
2. Quels sont les différents outils d'estimation des risques associés aux machines dangereuses utilisés en industrie (au Québec et ailleurs) ?
 - Ces méthodes ou outils sont-ils équivalents au point de vue application et résultats?
 - Quels sont les paramètres déterminants de ces outils?
3. Comment doit-on mettre en œuvre ces méthodes afin de garantir un résultat optimal vis-à-vis des ressources qu'elles nécessitent?

33 Main, Bruce W., Risk assessment, Basics and benchmarks, Design Safety Engineering Inc, Ann Arbor, Michigan, 478 p., 2004.

34 Worsell, Nicola, Wilday, Jill. The application of risk assessment to machinery safety - Review of risk ranking and risk estimation techniques, Health and Safety Laboratory, 130 p., 1997.

4. Quelle est la formation minimum requise pour utiliser ces méthodes de façon optimale?
5. De quelle façon une démarche d'appréciation des risques associés aux machines peut-elle s'intégrer dans des démarches d'analyse déjà existantes en entreprises (analyse ergonomique de postes de travail, analyse des tâches, groupes ERGO, SIMDUT, etc.)?
6. Comment se fait le lien entre la démarche d'appréciation du risque et la démarche de réduction du risque?

Cette programmation thématique a proposé les projets de recherche suivants :

- bilan des outils d'appréciation de risque : terminé, objet de ce rapport;
- expérimentation théorique des méthodes et outils : projet à venir;
- expérimentation pratique des méthodes et outils : projet à venir;
- analyse de formations : projet à venir;
- rédaction des guides : projet à venir;
- bilan et évaluation des pratiques réelles : projet à venir.

3. OBJECTIFS DU PROJET

L'objectif principal de cette étude était de faire une analyse de la bibliographie disponible afin de classer les différentes méthodes et outils d'appréciation du risque; plus précisément, il s'agissait de relever les spécificités propres à chacune de ces méthodes et outils et de les regrouper en familles dont des exemples représentatifs seront choisis dans les projets subséquents.

Les résultats de cette analyse bibliographique seront utilisés en parallèle avec le résultat du projet PR 99 399 [35] en vue de définir le détail du contenu des projets à venir dans le cadre de la programmation thématique sur le thème des processus d'appréciation des risques associés aux machines industrielles.

35 Claude Gaudet, Un état de la situation par rapport aux pratiques d'analyse de risque en usage (Les processus d'appréciation des risques associés aux machines industrielles), rapport synthèse de Forma Change inc., projet 099-399, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 2004.

4. MÉTHODE

À partir d'une veille technique en place depuis plus de cinq ans de recherches bibliographiques, d'opportunités suite à des interventions en usines et d'un suivi rapproché des travaux de standardisation, 275 documents qui font référence plus ou moins aux notions associées aux risques industriels ont été collectés et classés.

La collection de ces documents a été faite en essayant d'être le plus exhaustif possible et non sur une base statistique. Cette approche a pour conséquence que certaines méthodes ou outils se trouvent mentionnés par plusieurs documents; afin d'éviter les répétitions systématiques, les documents produits par un même organisme et qui contenaient des informations manifestement identiques ont été éliminés; dans certains cas, les documents émanant d'un même organisme mais dont le contenu présentait des variantes ont été conservés. Il en résulte que toute interprétation de la répartition quantitative des méthodes et outils présente une certaine imprécision de ce fait; toutefois cette répartition a été jugée comme représentative à des fins de comparaison.

Si les documents collectés ne contiennent pas tous une méthode ou un outil utilisable dans une démarche d'appréciation du risque, tous y font allusion de façon plus ou moins détaillée; certains documents font référence à une démarche spécifique totale ou partielle d'appréciation de risque qui a été effectuée tandis que d'autres présentent plutôt des conseils ou directives qui devraient être suivies lors d'une telle démarche.

Après analyse, 112 documents ont été retenus et codés dans une base de données relationnelle définie à l'aide du logiciel Access. Comme certains documents faisaient référence à plusieurs méthodes ou outils, deux fichiers ont été définis, l'un sur les documents eux-mêmes et l'autre sur les méthodes ou outils.

Les outils informatiques qui permettent de réaliser des appréciations des risques n'ont pas été retenus à des fins d'analyse, principalement faute de ressources suffisantes; en fait, comme la plupart de ces outils sont basés sur des méthodes connues et publiées, leur contenu se trouve analysé à travers la ou les documents qui expriment leurs principes de base et qui font partie des documents retenus.

Des formulaires de codifications ont été établis afin de coder les principales informations suivantes :

- Pour les documents :
 - o Désignation originale (titre, auteurs, année, éditeur, etc.);
 - o Type de document (norme, guide technique, article, procédure interne de compagnie, etc.).
- Pour les méthodes et outils :
 - o Type d'outil de détermination du risque (matrice, graphe de risque, opération numérique, abaque, combinaison de plusieurs types);
 - o Paramètres utilisés (gravité, fréquence ou durée d'exposition, probabilité d'occurrence du dommage ou de l'événement dangereux, possibilité d'évitement du dommage, autres);

- Graduation ou pondération des paramètres (appellation, terme exact, qualificatif, seuil de changement, description);
- Caractérisation du risque (nom du niveau de risque, valeur, descriptif, action à prendre);
- Type d'application (général, grand public, procédé industriel continu ou discontinu, tout type de machines, machine particulière, équipement militaire, etc.);
- Usage de la méthode ou de l'outil (détermination des limites, identification des phénomènes dangereux, estimation ou évaluation ou réduction des risques, détermination de priorités d'intervention, etc.);
- Stade d'usage dans la vie de la machine (conception, installation, mise en marche, opération, ajustement, réparation, maintenance préventive, déblocage, etc.).

La base de données relationnelle a permis d'établir le lien entre chaque méthode ou outil et tous les documents qui y faisaient référence. L'annexe A donne le détail des formulaires et des champs de codifications utilisés. Les codifications ont été inspirées de documents normatifs récents [26, 36] ou de résultats de recherches antérieurs [34, 33].

Le contenu des grilles de codification est principalement descriptif, car les connaissances recherchées par le présent projet dans les documents codés sont purement factuelles, en vue d'établir un bilan de connaissance et non d'effectuer une analyse critique. L'analyse critique de certains de ces outils sera abordée dans des projets ultérieurs à la lumière des résultats sur le plan des performances théoriques et pratiques.

Pour assurer la qualité scientifique de la codification et la rigueur de l'identification des méthodes, qui pouvaient être décrites dans plusieurs documents sous des variantes formelles ou conceptuelles, une double codification indépendante a été réalisée par l'INRS et l'UQTR. Lorsque tous les documents codifiables ont été codés dans deux bases de données, une confrontation systématique a permis de mettre en évidence les divergences qui ont été résolues lors d'échanges et de sessions de confrontation. Le taux de divergences a ainsi été réduit de 36 % (avant confrontation à distance) à 12 % (avant confrontation finale) pour atteindre un consensus final de tous les partenaires sur la base de données.

Finalement, 108 méthodes ou outils d'appréciation de risque, utilisables ou utilisés sur des machines de production industrielle, ont été codés dans la base de données finale.

L'analyse des données codées a été faite d'abord de façon à montrer la répartition des méthodes et outils selon les principales catégories d'informations codées ensuite à partir de questions générales ou précises, qui ont été traduites en interrogations à l'aide des logiciels Access et Excel, selon les cas, comme par exemple :

- quelle est la répartition des méthodes selon le destinataire auquel elles s'adressent?
- quelle est la répartition en pourcentage des méthodes et outils selon leur type?
- combien de méthodes ou d'outils utilisent le paramètre « possibilité d'évitement du dommage »?

- quelle est la méthode ou l'outil qui est référée ou mentionnée le plus souvent dans les documents codés?
- peut-on identifier des grandes familles de méthodes ou outils qui sont des variantes de méthodes ou outils de base?
- quels sont tous les descripteurs utilisés pour le paramètre « gravité des dommages »?
- comment sont décrits les seuils de ces descripteurs?
- par combien de seuils le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » est-il mesuré?
- comment varie le nombre de ces seuils selon les différentes méthodes ou outils qui utilisent ce paramètre?
- etc.

Après une première analyse de la façon dont les paramètres et leurs seuils sont décrits dans les méthodes et outils étudiés, il a été jugé nécessaire d'introduire et d'utiliser une classification supplémentaire non originalement prévue. Cette classification permet de définir chaque paramètre (gravité du dommage, probabilité de dommage, exposition, événement dangereux ou autre, exposition au phénomène dangereux, possibilité d'évitement du phénomène dangereux ou de l'accident ou autre) selon la façon dont il est exprimé (qualitatif, qualitatif détaillé, semi-quantitatif, quantitatif, hybride). Cette classification est dérivée de la classification habituellement utilisée (« qualitatif, pseudo ou semi-quantitatif et quantitatif » [34], [37]). Afin de différencier les cas où la définition du seuil du paramètre est simplement qualifiée (par exemple : « élevé », « fréquent ») des cas où le seuil du paramètre est précisé par un élément précis non quantifiable (par exemple : “Harmful : lacerations; burns; concussion; serious sprains; minor fractures; deafness; dermatitis; asthma; work related upper limb disorders; ill-health leading to permanent minor injury”), une distinction dans la définition du paramètre a été faite entre « quantitatif détaillé » et « semi-quantitatif ». Le détail de cette classification est exposé à l'annexe B.

Cette classification est nécessaire pour analyser en détail les outils, car pour un même outil, chaque paramètre peut faire l'objet d'un type de définition très différent. Par exemple, pour un outil donné, le paramètre « gravité » peut avoir été défini de façon qualitative alors que le paramètre « exposition au phénomène dangereux » a été défini de façon quantitative. Cette classification pourra servir à montrer, si par exemple, certains paramètres sont « mieux » définis que d'autres en général.

On notera que, même si certains chercheurs (31, 32) mettent en cause l'approche classique de l'appréciation du risque, le présent projet, tel qu'exprimé dans ses objectifs, ne peut qu'examiner des méthodes et outils actuellement disponibles pour effectuer l'estimation ou l'évaluation des risques associés aux machines dangereuses. Lorsque les projets subséquents auront mis en évidence des limites et problèmes spécifiques de ces outils, il y aura lieu alors d'en considérer les développements éventuels, en tenant compte, si nécessaire, de nouvelles visions induites par des travaux en cours dans le monde et au Québec.

37 A code of practice for risk assessment in the department of physics-advanced techniques, University of Cambridge, Department of Physics Cavendish Laboratory, June 2001.

5. RÉSULTATS

L'analyse des bases de données a permis d'obtenir les résultats exposés ci-après; ces résultats sont regroupés selon l'origine et les types de documents analysés, la nature des méthodes et outils analysés et la terminologie utilisée.

5.1 Répartition selon la nature des documents

La répartition des documents codés selon le type de document est indiquée au tableau 1.

Tableau 1 : Répartition des documents codés selon le type de document

	Revue	Revue scientifique	Autre (livre, etc.)	Document de compagnie	Guide	Norme	Procédure détaillée	Logiciel
Nombre	7	4	21	12	32	22	12	2
Pourcentage	6,25 %	3,6 %	18,8 %	10,7 %	28,6 %	19,6 %	10,7 %	1,8 %

Les guides et les normes ont été les types de documents les plus nombreux. Les documents obtenus de compagnies sont importants dans cette étude puisqu'ils témoignent d'une appropriation des méthodes existantes pour une mise application réelle et souvent soutenue par des entreprises. Tel qu'il en a été question précédemment, l'obtention de tels documents peut être difficile compte tenu qu'ils sont souvent considérés comme essentiels pour la stratégie de gestion interne de la compagnie et donc de nature confidentielle, ce qui explique le nombre relativement réduit de documents répertoriés.

5.2 Répartition des méthodes et outils selon leur utilisation

Les tableaux 2 à 5 détaillent la répartition des méthodes et outils selon leurs conditions d'usage; la somme des pourcentages y est supérieure à 100 à cause de la possibilité de codification multiple.

Le tableau 2 présente la répartition des 108 méthodes et outils selon le type de public visé. Le total des pourcentages est supérieur à 100 % parce que 16,7 % des méthodes sont destinées à plusieurs types de personnes.

Tableau 2 : Public visé par les méthodes et outils

	Préventionnistes	Concepteurs	Gestionnaires	Consultants SST	Autres	Non précisé
Nombre	14	37	22	3	36	36
Pourcentage (sur 108)	13,0 %	34,3 %	20,4 %	2,8 %	33,3 %	33,3 %

La répartition des méthodes et outils en fonction de l'objectif d'utilisation (détermination des limites, identification des phénomènes dangereux, etc., voir la figure 1) est présentée au tableau 3. Le total des pourcentages est supérieur à 100 %, car parmi les 108 méthodes codifiées, 38 % des méthodes combinent identification, estimation et évaluation; 58,3 % des méthodes combinent estimation et évaluation et 66,6 % des méthodes combinent identification des phénomènes dangereux et estimation des risques. D'autres combinaisons multiples ont été recensées mais dans des proportions moins importantes.

Tableau 3 : Objectifs d'utilisation des méthodes

	Détermination des limites	Identification des phénomènes dangereux	Estimation des risques	Évaluation des risques	Réduction des risques	Détermination des priorités d'intervention	Non précisé
Nombre	18	83	95	74	47	29	1
Pourcentage (sur 108)	16,7 %	76,8 %	88 %	68,5 %	43,5 %	26,8 %	1 %

Il convient de souligner que 105 des 108 méthodes (97 %) sont utilisées pour l'estimation et/ou l'évaluation des risques. Pour les trois autres méthodes, l'approche d'estimation et/ou d'évaluation est utilisée à d'autres fins, comme par exemple la détermination de priorités d'intervention.

Le tableau 4 présente la répartition des méthodes et outils en fonction des phases du cycle de vie global de la machine (conception, installation, mise en marche, ...) auxquelles elles s'appliquent. 16,7 % des méthodes s'appliquent à plusieurs phases du cycle de vie de la machine dont 11,1 % à trois phases et plus. Par exemple, 4,6 % des méthodes s'appliquent pour la conception et la phase opération et 7,4 % s'appliquent aux phases d'opération, de réparation et de maintenance préventive. La majorité des méthodes (55,6 %) ne précisent pas les phases du cycle de vie où sont applicables les méthodes.

Tableau 4 : Répartition des méthodes et outils selon les phases de la machine

	Conception	Installation	Mise en marche	Opération	Ajustement	Réparation	Maintenance préventive	Déblocage	Non précisé
Nombre	31	6	6	19	5	15	13	4	60
Pourcentage (sur 108)	28,7 %	5,6 %	5,6 %	17,6 %	4,6 %	13,9 %	12,0 %	3,7 %	55,6 %

Le tableau 5 présente la répartition des méthodes en fonction du type d'application. 15,7 % des méthodes s'appliquent à plusieurs types d'application. 6,5 % des méthodes s'appliquent pour des procédés industriels continus et discontinus.

Tableau 5 : Répartition des méthodes et outils selon les types d'application

	Général	Grand public	Procédé continu industriel	Procédé discontinu industriel	Tout type de machines	Machine particulière	Équipement militaire	Non précisé
Nombre	16	4	12	15	39	9	6	30
Pourcentage (sur 108)	14,8 %	3,7 %	11,1 %	13,9 %	36,1 %	8,3 %	5,6 %	27,8 %

Tous ces tableaux mettent en évidence la diversité des types de documents analysés, des personnes auxquels ils sont destinés, des objectifs d'utilisation des méthodes et des phases de la vie de la machine et enfin du type d'application.

5.3 Nature des méthodes et outils analysés

En utilisant dans un premier temps, la façon dont le résultat est obtenu (type d'outil de détermination du risque tel que matrice, graphe de risque, opération numérique, abaque, combinaison de plusieurs types), il a été possible d'établir un premier regroupement des méthodes (voir tableau 6); en introduisant une division supplémentaire (matrice à deux paramètres et matrices à plus de deux paramètres), six grandes familles d'outils ont été distinguées (voir tableau 7).

Tableau 6 : Répartition des méthodes et outils selon le type d'outil de détermination du risque

	Matrice	Graphe	Opération numérique	Abaque	Combinaison	Total
Nombre	58	11	16	3	20	108
Pourcentage	53,7 %	10,2 %	14,8 %	2,8 %	18,5 %	100 %

La majorité des outils (53,7 %) utilisent une forme matricielle pour définir le risque. Comme les graphes de risque peuvent être transformés en matrices par une simple modification de la présentation graphique, c'est quasiment 2/3 des méthodes qui sont utilisables sous formes de matrices.

Tableau 7 : Répartition des méthodes et outils selon les six familles identifiées

	Matrice à 2 dimensions	Matrice à plus de 2 dimensions	Graphe	Opération numérique	Abaque	Combinaison	Total
Nombre	51	7	11	16	3	20	108
Pourcentage	47,2 %	6,5 %	10,2 %	14,8 %	2,8 %	18,5 %	100 %

La plupart des matrices utilisées pour calculer le risque ne comprennent que deux paramètres. Par contre, 7 des 11 graphes de risque répertoriés utilisent plus de deux paramètres pour définir le risque. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il est plus pratique de combiner plusieurs paramètres avec un graphe de risque plutôt que par une matrice à plusieurs dimensions.

5.4 Caractéristique des paramètres utilisés

La répartition des paramètres utilisés par les méthodes et outils analysés est indiquée au tableau 8. On remarquera que les outils analysés utilisent tous au moins un paramètre qui est la gravité (ou conséquence).

Tableau 8 : Répartition des méthodes et outils selon les paramètres utilisés

	Gravité du dommage	Fréquence d'exposition	Durée d'exposition	Fréquence et/ou durée d'exposition	Fréquence et/ou probabilité non spécifié	Probabilité d'occurrence du dommage	Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux	Possibilité d'évitement du dommage	Autres
Quantité	108	20	6	20	32	26	33	18	42
Pourcentage (sur 108)	100,0 %	18,5 %	5,6 %	18,5 %	29,6 %	24,1 %	30,6 %	16,7 %	19,4 %

Les 108 méthodes et outils mentionnés font usage de paramètres formellement définis dont le nombre varie de 1 à 5, avec une majorité (59 méthodes) qui utilisent 2 paramètres (54,6 %) pour définir le risque, un de ces paramètres étant évidemment la gravité du dommage. De ces 59 méthodes, 11 utilisent la probabilité d'occurrence du dommage, 14 utilisent la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux et 26 utilisent un paramètre de fréquence et/ou probabilité non spécifiée comme second paramètre. On constate également que les trois paramètres d'exposition ainsi que le paramètre de possibilité d'évitement du dommage sont très rarement utilisés dans les méthodes à moins de trois paramètres.

Dans certains cas, d'autres paramètres ont été mentionnés, sans être explicitement définis. La répartition des méthodes et outils selon le nombre de paramètres utilisés est indiquée au tableau 9. Les calculs détaillés ont indiqué que seulement 6,5 % des méthodes et outils utilisent une présentation matricielle à plus de deux paramètres (voir tableau 7).

Tableau 9 : Nombre de paramètres par méthodes et outils analysés

Nombre de paramètres utilisés	1	2	3	4	5 ou plus
Nombre de méthodes ou outils concernés	2	59	19	15	11
Pourcentage	1,9 %	54,6 %	17,6 %	13,9 %	10,2 %

Le nombre de seuils (nombre de niveaux, qualitatifs ou quantitatifs, utilisables pour évaluer un paramètre donné) pour chacun des paramètres analysés est indiqué au tableau 10; on notera qu'il n'a pas toujours été possible d'identifier ce nombre de seuils pour certains documents ou lorsque le paramètre était exprimé de façon continue, par exemple pour l'utiliser dans une opération numérique. Une étude sommaire a également permis de constater qu'il n'y avait aucune corrélation significative entre le nombre de seuils spécifiés pour chaque paramètre pour une même méthode. Chaque paramètre d'une même méthode a généralement un nombre de seuils différent des autres.

Tableau 10 : Variation de la quantité de seuils pour chaque paramètre

	Nombre de mentions du paramètre	Nombre de seuils des paramètres									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gravité	108	0	4	24	46	20	8	2	0	1	2
	100 %	0 %	4 %	22 %	43 %	19 %	7 %	2 %	0 %	1 %	2 %
Fréquence d'exposition	18	0	2	6	2	4	2	2	0	0	0
	100 %	0 %	11 %	33 %	11 %	22 %	11 %	11 %	0 %	0 %	0 %
Durée d'exposition	4	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0
	100 %	0 %	25 %	75 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Fréquence et durée d'exposition	18	0	6	3	3	3	0	3	0	0	0
	100 %	0 %	33 %	17 %	17 %	17 %	0 %	17 %	0 %	0 %	0 %
Fréquence et durée non précisée	31	0	0	6	5	12	6	1	0	1	0
	100 %	0 %	0 %	19 %	16 %	39 %	19 %	3 %	0 %	3 %	0 %
Bilan 4 paramètres d'exposition	71	0	9	18	10	19	8	6	0	1	0
	100 %	0 %	13 %	25 %	14 %	27 %	11 %	8 %	0 %	1 %	0 %
Probabilité d'occurrence du dommage	24	0	1	6	7	7	3	0	0	0	0
	100 %	0 %	4 %	25 %	29 %	29 %	13 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Probabilité d'occurrence d'événement dangereux	30	0	1	7	3	13	3	2	0	0	1
	100 %	0 %	3 %	23 %	10 %	43 %	10 %	7 %	0 %	0 %	3 %
Bilan 2 paramètres de probabilité	54	0	2	13	10	20	6	2	0	0	1
	100 %	0 %	4 %	24 %	19 %	37 %	11 %	4 %	0 %	0 %	2 %
Possibilité d'évitement du dommage	15	0	11	1	0	2	0	0	0	0	1
	100 %	0 %	73 %	7 %	0 %	13 %	0 %	0 %	0 %	0 %	7 %
Autres paramètres	27	0	6	12	2	2	1	3	0	0	1
	100 %	0 %	22 %	44 %	7 %	7 %	4 %	11 %	0 %	0 %	4 %
Tous les paramètres	274	0	32	68	68	63	23	13	0	2	5
	100 %	0 %	12 %	25 %	25 %	23 %	8 %	5 %	0 %	1 %	2 %

Pour les 108 méthodes et outils analysés, 305 termes différents ont été donnés aux paramètres utilisés. Dans 288 cas où les paramètres ont été définis explicitement, il a été possible de qualifier le mode de définition (qualitative, qualitatif détaillé, semi quantitative, quantitative, hybride) selon les définitions de l'annexe A; le tableau 11 indique la répartition des méthodes et outils selon la nature et le mode de définition du paramètre.

Tableau 11 : Répartition et définition des paramètres mentionnés

	Total des paramètres mentionnés	Total des paramètres définis explicitement	Définition du paramètre				
			Qualitative	Qualitative détaillé	Semi-quantitative	Quantitative	Hybride
Tous les paramètres	305	288	79	156	63	4	14
			27,4 %	54,2 %	21,9 %	1,4 %	4,9 %
Gravité	108	108	23	77	14	1	7
	100,0 %	100,0 %	21,3 %	71,3 %	13,0 %	0,9 %	6,5 %
Fréquence d'exposition	20	18	2	4	14	0	2
			11,1%	22,2%	77,8%	0,0%	11,1%
Durée d'exposition	6	5	3	1	1	0	0
			60,0 %	20,0 %	20,0 %	0,0 %	0,0 %
Fréquence et durée d'exposition	20	19	6	7	6	1	1
			31,6 %	36,8 %	31,6 %	5,3 %	5,3 %
Fréquence et durée non précisée	32	32	10	14	8	0	0
			31,3 %	43,8 %	25,0 %	0,0 %	0,0 %
Bilan 4 paramètres d'exposition	78	74	21	26	29	1	3
	72,2 %	68,5 %	28,4 %	35,1 %	39,2 %	1,4 %	4,1 %
Probabilité d'occurrence du dommage	26	24	8	11	5	0	0
			33,3 %	45,8 %	20,8 %	0,0 %	0,0 %
Probabilité d'occurrence d'événement dangereux	33	32	8	19	7	0	2
			25,0 %	59,4 %	21,9 %	0,0 %	6,3 %
Bilan 2 paramètres de probabilité	59	56	16	30	12	0	2
	54,6 %	51,9 %	28,6 %	53,6 %	21,4 %	0,0 %	3,6 %
Possibilité d'évitement du dommage	18	17	11	6	0	0	0
	16,7 %	15,7 %	64,7 %	35,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Autres paramètres	42	33	8	17	8	2	2
	38,9 %	30,6 %	24,2 %	51,5 %	24,2 %	6,1 %	6,1 %

Le tableau 11 permet de constater que très peu de méthodes utilisent des paramètres quantifiés pour définir le risque. La majorité des paramètres sont en effet définis de façon qualitative détaillée. Par contre, la durée d'exposition et la possibilité d'évitement du dommage se distinguent par leur approche qualitative, alors que la fréquence d'exposition est le plus souvent définie de façon semi-quantitative. Il est intéressant de noter que ces trois paramètres sont aussi parmi ceux que l'on retrouve le moins fréquemment dans les méthodes étudiées, avec une représentation de 5,6 % pour la durée d'exposition, de 16,7 % pour la possibilité d'évitement et de 18,5 % pour la fréquence d'exposition (réf. Tableau 8).

5.5 Terminologie utilisée pour les paramètres

Pour chaque paramètre mentionné, il a été possible de rassembler le terme exact attribué. Les tableaux 12 à 20 indiquent les termes exacts et la fréquence d'usage pour les paramètres qui ont été mentionnés dans tous les outils et les méthodes analysés. Pour des raisons d'espace, ces tableaux ne comportent pas les termes utilisés une seule fois; les termes utilisés une seule fois figurent dans les tableaux complets de données de l'annexe C.

Tableau 12 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre gravité

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Gravité - Sévérité - Severity	38
Consequence(s) - Conséquence(s)	13
Gravité du dommage - Severity of harm	11
Consequence - impact - effect	5
Severity of injury	5
Hazard severity	4
Severity of consequences	3
Gravité des dommages potentiels - 'Severity of potential harm	2
Possible severity of injury (harm)	2
25 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

Tableau 13 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence d'exposition

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Frequency of exposure - Exposure frequency - Fréquence d'exposition	7
Frequency	3
Exposure - Exposition	2
Fréquence d'exposition aux phénomènes dangereux - 'Frequency of exposure to hazard	2
Frequency of access - of approach	2
4 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

Tableau 14 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre durée d'exposition

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Durée d'exposition - Exposure duration	2
4 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

Tableau 15 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence et durée

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Fréquence et durée d'exposition - Frequency/duration of exposure	6
Exposition - Exposure	2
12 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

Tableau 16 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence et durée sans précision

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Probabilité - Probability	11
Likelihood	9
Fréquence - Frequency	4
Frequency of occurrence	4
4 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

Tableau 17 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre probabilité d'occurrence du dommage

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Probabilité d'apparition du dommage - Pb of an injury occurring - Pb d'occurrence du dommage - Pb of occurrence of harm - Probability or likelihood of harm occurring	8
Probabilité d'apparition - Probability of occurrence - likelihood of occurrence	4
Likelihood of harm - or loss	3
Probability of injury	2
9 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

Tableau 18 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre probabilité d'occurrence d'événement dangereux

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Probability of occurrence of a hazardous (dangerous) event	5
Probabilité d'apparition d'un événement dangereux	4
Mishap Probability	3
Hazard probability	2
19 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

Tableau 19 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre possibilité d'évitement

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Avoidance	4
Possibilité d'évitement du dommage - Possibility of avoiding harm	2
Possibility of avoiding or limiting harm - Possibilité d'éviter ou de limiter le dommage	2
Possibility of avoiding the hazard	2
8 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

Tableau 20 : Termes utilisés et répartition pour les autres paramètres

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Exposed people	2
Guarding factor - Guards	2
38 autres termes utilisés individuellement (Voir annexe C pour détails)	

5.6 Terminologie utilisée pour qualifier le risque estimé ou évalué

Cent vingt-cinq termes différents ont été utilisés pour décrire ou pour qualifier les niveaux de risque. Parmi eux, treize expressions de base pour estimer le risque ont été utilisées plusieurs fois. Huit expressions de base pour évaluer le risque ont été utilisées plusieurs fois. Vingt-cinq autres termes, dépourvus de signification particulière (1, 2, 3, A, B, C, etc.) ont été utilisés à des seules fins de classification. Finalement, soixante-huit termes ou expressions divers ont été mentionnés une seule fois en rapport avec l'estimation ou l'évaluation du risque. La répartition des expressions utilisées plusieurs fois pour qualifier le résultat d'une estimation ou d'une évaluation du risque est présentée au tableau 21.

Tableau 21 : Termes utilisés et répartition pour l'appellation des niveaux de risque

Appellation utilisée en estimation	Nombre de fois mentionnées	Appellation utilisée en évaluation	Nombre de fois mentionnées
Extremely High	4	Unacceptable -inacceptable	11
Very high - Très élevé	9	Intolérable	5
High - Élevé	34	Critical	2
Serious	5	Undesirable	3
Substantial - Substantiel	5	Tolerable	3
Important	3	Acceptable with management review	3
Possible	5	Broadly acceptable	4
Medium - M - Moyen	24	Acceptable	7
Moderate	6		
Low, L	29		
Slight	2		
Very low	3		
Negligible	6		
25 termes de classification (1, 2, 3, A, B, C, etc. .) mentionnés plusieurs fois (de 2 à 13 fois) (Voir annexe C pour détails)			
68 divers autres termes mentionnés une seule fois pour l'estimation ou l'évaluation du risque (Voir annexe C pour détails)			

5.7 Répartition du nombre de niveaux de risque

Le nombre de niveaux permettant de définir le risque varie de 1 à 12. Les valeurs les plus fréquentes sont trois niveaux (30 méthodes), quatre niveaux (28 méthodes) et cinq niveaux

(19 méthodes). Quarante-cinq des cinquante-huit matrices répertoriées utilisent 3, 4 ou 5 niveaux de risque.

Le tableau 22 présente la répartition des méthodes en fonction du nombre de niveaux de risque utilisés lors de l'évaluation. Ces niveaux servent à donner des priorités pour les mesures de réduction du risque.

Tableau 22 : Répartition des méthodes et outils selon le nombre de niveaux de risque (évaluation)

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Autres ou non précisé
Nombre de niveaux	7	32	29	21	2	3	2	3	0	1	1	7
Pourcentage (sur 108)	6,5 %	29,6 %	26,8 %	19,4 %	1,8 %	2,8 %	1,8 %	2,8 %	0,0 %	0,9 %	0,9 %	6,5 %

6. DISCUSSION

L'élément le plus frappant de l'analyse des résultats réside dans la diversité à tous les niveaux : diversité des types de documents analysés, des personnes auxquelles ils sont destinés, des objectifs d'utilisation des méthodes et des phases de la vie de la machine et enfin du type d'application. La nature même de chaque méthode ou outil pour estimer ou évaluer les risques présente une grande diversité : la façon de décrire et de définir chaque paramètre, le nombre de paramètres, la façon de calculer et de qualifier le risque, la façon de classer ou d'évaluer le résultat final, etc.

Toutefois, cette diversité observée n'empêche pas d'identifier de façon certaine des tendances générales sur la structure des méthodes et outils étudiés.

6.1 Diversité des documents analysés et leur usage

La répartition des documents selon leurs origines variées permet d'obtenir une image assez étendue des méthodes et outils analysés; on notera qu'il est probablement plus facile à un utilisateur potentiel d'obtenir des documents sous une forme de guide (28,6 % des documents) ou de norme (19,6 % des documents).

Ces documents décrivent des méthodes et outils dont la destination et l'usage sont explicitement ou implicitement exprimés :

- le public d'utilisateurs visé, quoique non précisé dans 33,3 % des cas, est assez divers;
- les objectifs d'utilisation sont presque toujours définis ou au moins discernables et concernent en grande partie l'estimation des risques (88 % des cas), l'identification des phénomènes dangereux (76,8 % des cas), et l'évaluation des risques (68,5 % des cas); les autres usages possibles sont importants : réduction des risques (43,5 % des cas) et détermination des priorités d'intervention (26,8 % des cas);
- les phases de la vie des machines pour lesquelles les méthodes et outils sont prévus sont cependant peu précises (55,6 % n'y font pas référence); lorsque c'est précisé, la phase de conception est mentionnée le plus souvent (28,7 % des cas), puis l'opération (17,6 % des cas), les réparations (13,9 % des cas) et la maintenance préventive (12 % des cas); la part prépondérante pour les phases de conception s'explique en partie par les sources utilisées qui sont essentiellement des guides et normes dédiés à la conception. Ces résultats suggèrent que la majorité des méthodes sont relativement polyvalentes et peuvent être utilisées pour l'analyse des risques dans plusieurs contextes;
- le type d'application des méthodes et outils se concentre sur les machines, sans préciser le type particulier de machine (36,1 % des cas); il n'est pas précisé dans 27,8 % des cas. Lorsque l'on combine les méthodes s'appliquant à tous les types de machines à celles qui dont l'application spécifique n'est pas précisée, on constate que les 2/3 des méthodes ne limitent par leur application à des cas particuliers. Ces résultats suggèrent encore une fois que la majorité des méthodes sont relativement polyvalentes dans leur application à l'analyse des risques machines.

6.2 Diversité de la nature des outils

La classification des méthodes et outils selon le type montre une forte majorité d'outils (53,7 %) qui font appel à une présentation matricielle à deux paramètres pour déterminer le niveau de risque. Seulement 6,5 % des méthodes et outils utilisent une présentation matricielle à plus de deux paramètres.

Le paramètre « gravité » est présent dans toutes les méthodes et outils étudiés mais selon une graduation qui peut varier de deux seuils (4 % des cas) à dix seuils (2 % des cas), la plus grande partie d'entre eux utilisant quatre seuils (43 % des cas). Il est exprimé en majorité (71,3 %) de façon qualitative détaillée. La gravité est donc un paramètre considéré comme incontournable pour effectuer une estimation des risques associés aux machines.

Le paramètre « fréquence d'exposition » est utilisé de façons diverses, soit de façon unique (18 cas, soit 16,7 %) soit décomposé en d'autres sous-paramètres (56 cas soit 51,8 %). Ce paramètre est exprimé en général de façon semi-quantitative (39,2 %) ou qualitative détaillée (35,1 %).

Le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage ou d'événement dangereux » est utilisé dans 53,6 % des outils et méthodes; il est en général exprimé de façon qualitative détaillée (53,6 %).

Par contre, le paramètre « possibilité d'évitement » n'est utilisé que dans 16,7 % des méthodes. Ce paramètre est exprimé en général de façon qualitative (64,7 %).

Une analyse détaillée permet de constater qu'au total, 32 des 108 méthodes utilisent un paramètre de fréquence et/ou probabilité non spécifiée. Cette donnée est préoccupante puisque le fait de ne pas spécifier précisément la donnée de fréquence ou de probabilité qui permet de définir le risque peut entraîner des divergences importantes d'un cas à l'autre. Par exemple, la probabilité d'un dommage est généralement nettement inférieure à celle d'un événement dangereux, ce dernier n'entraînant pas forcément un dommage.

D'autres paramètres ont été mentionnés dans 38,9 % des cas; ces paramètres sont très hétérogènes, car ils font appel à 40 termes ou expressions différentes. Ces paramètres sont exprimés en majorité de façon qualitative détaillée (51,5 %).

6.3 Les grandes familles de méthodes et outils

À travers la diversité des outils codés, il est possible néanmoins d'identifier six grandes familles de méthodes et outils en vue de recherches ultérieures (voir tableau 7). Ces familles ont été regroupées pour les raisons suivantes :

- matrice à deux paramètres : le type le plus répandu (47,2 %);
- matrice à plus de deux paramètres : une variante du type précédent (6,5 %);
- graphe de risque : un mode de représentation des matrices utilisées assez fréquemment (10,2 %);
- opération numérique : un mode de calcul différent des matrices, utilisé assez fréquemment (14,8 %);
- abaque : un mode original de calcul, quoique peu répandu (2,8 %); on ne peut donc pas en tirer des conclusions;

- combinaison : un mode de calcul combiné assez répandu (18,5 %).

En regroupant les données présentées précédemment, on peut dresser le portrait type des méthodes les plus répandues :

- la méthode permet de faire l'estimation et/ou l'évaluation des risques;
- elle est relativement polyvalente tant en termes de phases du cycle de vie de la machine auxquelles elle peut être employée qu'en termes de type de machine qu'elle vise;
- elle est présentée sous forme matricielle à deux paramètres;
- elle utilise le paramètre de gravité conjointement avec, soit le paramètre de probabilité d'occurrence du dommage, soit le paramètre de probabilité d'occurrence de l'événement dangereux, soit un paramètre de fréquence et/ou probabilité non spécifiée;
- ces paramètres sont exprimés sur une échelle qualitative détaillée de quatre ou cinq seuils;
- elle exprime le risque sur une échelle allant de trois à cinq niveaux.

6.4 Diversité de la terminologie

Les termes utilisés présentent une très grande diversité aussi bien dans la façon de décrire en général et en détail les méthodes et outils que dans la façon de qualifier le risque à des fins d'estimation ou d'évaluation. Il est difficile d'apporter a priori des explications à ces variations; il est probable que plusieurs facteurs y ont conduit :

- premièrement, la relative nouveauté des normes qui s'appliquent à l'appréciation des risques associés aux machines industrielles; par exemple, les travaux relatifs à la norme européenne EN 1050 [38] datent d'une vingtaine d'années environ;
- deuxièmement, le phénomène d'« appropriation » des méthodes et outils peut avoir conduit chaque « nouveau » concepteur ou groupe de concepteurs de méthode ou d'outil à introduire son propre vocabulaire ou ses propres concepts, sans chercher à uniformiser la terminologie avec une terminologie extérieure existante; un effet bénéfique de ce facteur est justement l'« appropriation » par les intéressés des méthodes ou outils développés à l'interne; ces méthodes et outils ont ainsi plus de chances d'être suivis et appliqués si leur développement a été conduit par les futurs utilisateurs et non pas imposé de l'extérieur avec une terminologie étrangère;
- troisièmement, des différences dans les besoins ressentis au niveau de chaque installation industrielle peuvent avoir conduit à utiliser des concepts légèrement différents avec des vocabulaires à usage « local »;
- enfin, le manque de visibilité des documents de référence (normes, lois, guides, etc.) n'a pas facilité la diffusion de connaissances scientifiques communes; ce phénomène a probablement été aggravé par l'absence à peu près totale de formation scolaire ou universitaire dans ce domaine.

38 Sécurité des machines. Principes pour l'appréciation du risque, Norme Européenne EN 1050, novembre 1996.

6.5 Prospective pour les futurs projets de recherche

À partir des six grandes familles de méthodes et outils d'estimation ou d'évaluation des risques, il faudra sélectionner probablement deux exemples de chaque afin de les soumettre à des essais théoriques et pratiques pour en comparer les résultats.

La classification selon le mode de définition des paramètres (qualitatif, qualitatif détaillé, semi-quantitatif, quantitatif ou hybride, selon les définitions de l'annexe B) permettra de choisir des méthodes et outils pour expérimentation en vue de répondre aux questions suivantes :

- quelle est la façon la plus « précise » au niveau théorique de définir un paramètre?
- est-ce qu'une définition plus « précise » au niveau théorique conduit à une meilleure « convergence » des résultats (variabilité inter opérateur)?
- est-ce qu'une définition plus « précise » au niveau théorique conduit à une meilleure « cohérence » des résultats pour un même utilisateur (variabilité intra opérateur)?

Par un choix judicieux des méthodes et outils, les expérimentations ultérieures devraient apporter des réponses à ces questions parmi d'autres.

La classification des différentes méthodes et outils codés servira de base pour choisir des exemples caractéristiques en vue de leur expérimentation théorique et pratique dans les projets subséquents de la programmation thématique sur l'analyse des risques associés aux machines de production industrielle. Les critères détaillés de sélection seront définis à l'intérieur de chaque projet selon leurs objectifs et moyens respectifs.

7. CONCLUSION

Dans un premier temps d'analyse, il est intéressant de constater que, lorsque la base théorique est mentionnée dans le document, implicitement ou explicitement, elle se réfère pratiquement toujours à la conception générale du risque comme une combinaison de conséquences (ou dommages) avec une probabilité d'événement ou d'exposition. La base théorique générale de tous les outils et méthodes analysés est donc la même.

Après analyse détaillée de chaque outil, nous constatons que le paramètre « gravité » est utilisé dans toutes les méthodes. La gravité est donc un paramètre considéré comme incontournable pour effectuer une estimation des risques associés aux machines. Par contre, un paramètre comme la possibilité d'évitement n'est utilisée que dans 16,7 % des méthodes. De même, des paramètres tels que la probabilité d'occurrence du dommage (24 % des méthodes l'utilisent), la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (30,5 % des méthodes) sont aussi très peu représentés. De plus, dans les objectifs d'utilisation des méthodes, peu de cas abordent la détermination des limites. Ces notions étant utilisées dans la norme ISO 14121, dans sa version originale européenne EN 1050 [38] ou dans sa version de travail la plus récente [36], il sera intéressant de comprendre pourquoi ils sont aussi peu utilisés.

- Est-ce un problème de diffusion de la norme ISO 14 121?
- Est-ce que les paramètres du risque machines sont mal compris? Mal exprimés?
- Y a-t-il un problème de formation ou de diffusion de connaissances?

Au niveau encore plus détaillé des outils et méthodes analysés, on constate que 82 % des méthodes utilisent entre deux et cinq niveaux de risque. 47,2 % des méthodes utilisent des méthodes matricielles à deux paramètres. Seulement 6,5 % des méthodes et outils utilisent une présentation matricielle à plus de deux paramètres. De même, peut-on interpréter la grande diversité de termes et expressions utilisés comme un manque de normalisation ou bien comme un signe d'appropriation des concepts de la norme par les concepteurs des méthodes et outils? La grande diversité du mode de définition des paramètres et du calcul du risque conduit à la même interrogation. Pour un utilisateur potentiel du résultat d'un calcul de risque, la variété du vocabulaire peut devenir un obstacle lorsqu'une décision finale doit être prise après l'évaluation d'un risque.

Ceci tend à montrer que pour des raisons de simplicité et d'appropriation des méthodes par les entreprises, il est peut-être plus judicieux d'avoir des méthodes simples, facilement exploitables plutôt que des méthodes complexes, pour lesquelles la personne réalisant l'analyse de risque aura du mal à choisir les valeurs pour les différents paramètres intervenants dans l'analyse de risque.

Enfin, la comparaison des résultats d'estimations du risque effectuées avec des outils différents présente plusieurs obstacles, principalement à cause de la variation dans la nature et le nombre de paramètres, de la notation des paramètres, de la façon de calculer le résultat final et dans la terminologie utilisée pour qualifier le résultat. Si l'on veut comparer des situations de travail pour hiérarchiser les actions, il est donc nécessaire d'utiliser la même méthode d'estimation.

8. RÉFÉRENCES

1. Plan d'action en établissement sur la sécurité des machines, L'Hyperlien, CSST, Février 2005.
2. André Lachance, Les machines dangereuses ont trouvé leurs maîtres, Prévention au travail, vol. 16, n° 3, p. 7-14, été 2003.
3. Transfert de compétences en formation sur la gestion de la sécurité des machines et les moyens de protection. (099-216). Projet IRSST, 2002-2004.
4. Lane, J., Tardif, J., Bourbonnière, R., Educational approaches to promote in order to favour the transfer of competencies in risk assessment and protective devices training. In J. Ciccotelli (dir.), 3rd International Conference : Safety of Industrial Automated Systems, Nancy (France), octobre 2003.
5. Marie St Vincent, Georges Toulouse, Marie Bellemare, Démarches d'ergonomie participative pour réduire les risques de troubles musculo-squelettiques : bilan et réflexions, Pistes, Montréal, vol. 2 n° 1, mai 2000.
6. Management de la santé et de la sécurité au travail, Association française de normalisation, AFNOR, Paris, 324 p., 2003 (NO-002610).
7. OHSAS: 18002: Occupational health and safety management systems : guidelines for the implementation of OHSAS 18001, British Standards Institution, BSI, London, 52 p. , 2000 (NO-002635).
8. Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1: Terminologie de base, méthodologie, norme internationale, ISO 12100-1 : 2003.
9. Exigences et guide pour l'analyse des risques, Association canadienne de normalisation. ACN/CSA-Q634-91, 1991.
10. Sécurité des machines, Principes pour l'appréciation du risque, norme internationale, ISO 14121 :1999.
11. ANSI Technical Report for Machine Tools – Risk Assessment and Risk Reduction – A Guide to Estimate, Evaluate and Reduce Risks Associated with Machine Tools. American National Standard, ANSI B11.TR3: 2000.
12. CAN/CSA-ISO/TS 14798-F01: Ascenseurs, escaliers mécaniques et trottoirs roulants - Méthodologie de l'analyse du risque (Spécification technique ISO/TS 14798:2000, première édition, 2000-11-01).
13. Sécurité fonctionnelle: systèmes relatifs à la sécurité, parties 1 à 7, Commission Électrotechnique Internationale, Comité technique n°65 : Mesure et contrôle du procédé industriel, IEC 61508-1/7, 1998.
14. Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception. International Standards Organisation, Norme internationale ISO 13849-1, 1996.
15. Sécurité des machines, Phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, DC 900-337 (07-02), 2002.
16. Sécurité des équipements de travail, Guide pour l'analyse des risques et le choix des mesures de prévention, CRAMIF, DTE 127, septembre 2000.

17. Forsblom-Pärli, U., Méthode Suva d'appréciation des risques à des postes de travail et lors de processus de travail, Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, référence 66099.f, octobre 2001.
18. Calculez vous-même vos risques d'accident! – Appréciation du risque mécanique au poste de travail, Comité "Sécurité machine" de l'Association Internationale de Sécurité Sociale, N° 2034 (F), 35 pages, 1998.
19. Johnny Persson, Risk Assessment and Risk Reduction, Presentation to the first meeting of ISO/TC 199/WG 5, January 2003.
20. Hasse Sjöström, Machine Safety Analysis, Presentation to the first meeting of ISO/TC 199/WG 5, January 2003.
21. Nicola Worsell, HSL presentation on risk assessment, Presentation to the first meeting of ISO/TC 199/WG 5, January 2003.
22. Safe Book 2 Machinery Safety Safeguarding and Protective Measures Legislation, Theory and Practice, Scientific Technologies Inc., California, 1998.
23. Risk Assessor, Safety Media, United Kingdom, Logiciel, 2003.
24. Méthode Suva d'appréciation des risques à des postes de travail et lors de processus de travail, Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, Logiciel, 2002.
25. Robot Risk Assessment, Robotic Industries Association, Logiciel, 1999.
26. Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1: Terminologie de base, méthodologie, norme internationale, ISO 12100-1 : 2003.
27. Sécurité des machines, Phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, DC 900-337 (07-02), 2002.
28. Claude Gaudet, Un état de la situation par rapport aux pratiques d'analyse de risque en usage (Les processus d'appréciation des risques associés aux machines industrielles), Rapport synthèse de Forma Change inc., projet 099-399 L'Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité du travail, 2004.
29. Parry, G.W., Uncertainty in PRA and its implications for use in Risk-informed decision making, Proceedings of the 4th International conference on probabilistic safety assessment and management, PSAM 4, Edited by Mosleh, A. & Bari, R.A., New York, 1998.
30. Charpentier, P., Projet européen RAMSEM - Développement et validation d'une méthode d'appréciation du risque machine basée sur les principes de la norme EN 1050, Projet A.5/1,058 de l'INRS, 2003.
31. Abrahamsson, M., Uncertainty in quantitative risk analysis- characterisation and methods of treatment, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, Sweden, 2002.
32. Clemens, P. L., Simmons, R. J., System safety and risk management, A guide for Engineering Educators, Lesson II Risk assessment matrix, NIOSH Instructional Module, U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio, March 1998.
33. Main, Bruce W., Risk assessment, Basics and benchmarks, Design Safety Engineering Inc, Ann Arbor, Michigan, 478 pages, 2004.

34. Worsell, Nicola, Wilday, Jill., The application of risk assessment to machinery safety - Review of risk ranking and risk estimation techniques, Health and Safety Laboratory, 130 pages, 1997.
35. Claude Gaudet, Un état de la situation par rapport aux pratiques d'analyse de risque en usage (Les processus d'appréciation des risques associés aux machines industrielles), Rapport synthèse de Forma Change inc. , projet 099-399. L'Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité du travail, 2004.
36. Sécurité des machines. Principes pour l'appréciation du risque, Norme Internationale. ISO/FDIS 14121, 1998.
37. A code of practice for risk assessment in the department of physics-advanced techniques, University of Cambridge, Department of Physics, Cavendish Laboratory. June 2001.
38. Sécurité des machines. Principes pour l'appréciation du risque, Norme Européenne EN 1050, novembre 1996.

ANNEXE A : CODAGE DES DOCUMENTS ET MÉTHODES

A.1 Codage des documents

La base de données des références a été codée en utilisant un formulaire général d'identification comprenant les champs suivants (il n'a pas toujours été possible de remplir tous les champs) :

- Titre du document
- Titre de la publication
- Année, volume, pages de la publication
- Nom, prénom et affiliation du ou des auteurs
- Éditeur
- Date de publication
- Type de publication :
 - o Article scientifique
 - o Article de revue
 - o Guide
 - o Norme
 - o Logiciel
 - o Procédure détaillée
 - o Document de compagnie

A.2 Codage des méthodes et outils

La base de données des méthodes et outils a été codée en utilisant huit formulaires principaux :

- Type d'application :
 - o Général : incluant presque tous les risques sociétales possibles
 - o Grand public (produits de consommation)
 - o Procédé continu industriel (en général, procédé confiné et automatisé fonctionnant en continu)
 - o Procédé discontinu industriel (à l'unité, en lots, en recettes ou en série)
 - o Tout type de machines en général
 - o Machine particulière
 - o Équipement militaire
 - o Non précisé
- Usage de la méthode ou de l'outil codé :
 - o Détermination des limites
 - o Identification des phénomènes dangereux
 - o Estimation des risques
 - o Évaluation des risques
 - o Réduction des risques
 - o Détermination de priorités d'intervention
 - o Non précisé
- Stade d'usage dans la vie de la machine :
 - o Conception
 - o Installation

- Mise en marche
- Opération
- Ajustement
- Réparation
- Maintenance préventive
- Déblocage
- Non précisé
- Destinataire :
 - Prévention, responsable SST
 - Concepteurs
 - Gestionnaires
 - Consultant en SST
 - Autres
 - Non précisé
- Type d'outil de détermination du risque :
 - Matrice ou table de vérité
 - Graphe de risque
 - Opération numérique (addition, multiplication)
 - Combinaison de plusieurs facteurs (hybride)
 - Abaque
- Paramètres utilisés :
 - Gravité du dommage
 - Fréquence d'exposition
 - Durée d'exposition
 - Fréquence et/ou durée d'exposition
 - Fréquence et/ou probabilité non spécifiée
 - Probabilité d'occurrence du dommage
 - Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux
 - Possibilité d'évitement du dommage
 - Autres
- Graduation ou pondération des paramètres :
 - Appellation utilisée : terme exact utilisé pour le type de paramètre (« Severity », « Frequency and duration of exposure »)
 - Possibilité d'évitement : de nature humaine, technique ou non spécifié (lorsque le paramètre s'y rapporte)
 - Référent : terme exact utilisé pour noter le paramètre (lettre : « B », chiffre : « 3 » ou les deux : « S2 »)
 - Mots : terme exact utilisé pour qualifier le « niveau » du paramètre (« élevé », « faible », « improbable »)
 - Valeurs : seuil de changement de la valeur du paramètre lorsqu'il est spécifié
 - Descriptions : texte explicatif pour définir la valeur du paramètre lorsqu'il est spécifié.
- Critères précis pour définir le risque final :
 - Possibilité d'évitement du dommage
 - Nom du niveau de risque : terme exact utilisé pour qualifier le « niveau » du risque (« moyen », « acceptable », « R2 »)

- Valeur nominale (minimale, maximale) du risque : selon la façon dont le risque est obtenu, dans certains cas une valeur numérique est définie
- Descriptif du risque : texte explicatif pour définir la valeur du « niveau » du risque lorsqu'il est spécifié
- Action à prendre selon le niveau obtenu : dans le cas d'un outil d'évaluation, une action particulière doit être définie pour chaque seuil de risque

ANNEXE B : ANNEXE B CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES SELON LEUR DÉFINITION

B.1 Définition des paramètres du risque

Chaque paramètre utilisé à des fins d'estimation du risque doit faire l'objet d'une classification séparée, car cette classification peut dépendre de la nature même de ce paramètre; par exemple, on ne définit pas nécessairement une gravité selon des mesures analogues à celles utilisées pour définir une exposition.

B.2 Type de paramètres du risque

Les paramètres utilisés pour calculer ou définir un risque ont été classés selon les éléments suivants reconnus dans la norme ISO 14121 [36].

« *Le risque associé avec une situation particulière ou un procédé technique est obtenu de la combinaison des éléments suivants :*

- *La gravité du dommage*
- *La probabilité d'occurrence de ce dommage qui est une fonction de :*
 - o *L'exposition de la personne au phénomène dangereux*
 - o *L'occurrence d'un événement dangereux*
 - o *Les possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage »*

Nous avons distingué les paramètres suivants dans notre étude : la gravité, la probabilité (dont l'objet spécifique peut être défini), l'exposition et la possibilité d'évitement.

Chaque paramètre identifié dans une des méthodes et outils étudiés a été classifié selon la classification proposée ci-dessous.

B.2.1 Qualitatif

Définition : Attribution d'une note (chiffre ou lettre) à partir de mots sans chiffres ni explication ne permettant pas de choisir avec un minimum d'objectivité et de répétition.

Le tableau 1 montre deux exemples de définition qualitative du paramètre « *worst likely outcome* » extrait de l'étude HSL [34, page 24], pour la méthode identifiée par « Kaser » et du paramètre « *likelihood of harm* », extrait de l'étude HSL [34, page 15], pour la méthode identifiée par « *BS8800* ».

Tableau 1 : Exemples de paramétrage qualitatif de gravité et de probabilité du dommage

Paramètre gravité selon « Kaser »
Fatality
Major injury / permanent disability including permanent ill health
Minor injury
Environmental / plant damage i. e. no injury

Paramètre probabilité de dommage selon « BS8800 »	
1	Highly unlikely
2	Unlikely
3	Likely

B.2.2 Qualitatif détaillé

Définition : Attribution d'une note (chiffre ou lettre) à partir de données qualitatives utilisant des mots; ces mots servent de repères ou de points de comparaison.

Le tableau 2 présente deux exemples de paramétrage qualitatif détaillé du paramètre gravité, extrait de l'étude HSL [34, page 14], utilisé dans la méthode appelée « *BS8800* » et du paramètre « *likelihood to cause harm* », extrait de l'étude HSL [34, page 8], utilisé dans la méthode appelée « *BT* ».

Tableau 2 : Exemples de paramétrage qualitatif détaillé de gravité et de probabilité du dommage

Paramètre gravité selon « <i>BS8800</i> »		
1	Slightly harmful	“superficial injuries; minor cuts and bruises; eye irritation from dust; nuisance and irritation (headaches); ill-health leading to temporary discomfort”
2	Harmful	“lacerations; burns; concussion; serious sprains; minor fractures; deafness; dermatitis; asthma; work related upper limb disorders; ill-health leading to permanent minor injury”
3	Extremely harmful	“amputations; major fractures; poisonings; multiple injuries; fatal injuries; occupational cancer; other severely life shortening diseases; acute fatal diseases”

Paramètre probabilité du dommage selon « <i>BT</i> »		
3	High	Probable
2	Medium	Possible
1	Low	Unlikely

B.2.3 Semi-quantitatif

Définition : Attribution d'une note (chiffre ou lettre) à partir de données quantitatives utilisant des mots et des chiffres servant de points de repère.

Le tableau 3 représente deux exemples de paramétrage semi-quantitatif, relatif au paramètre : « *hazard in term of the potential to cause harm* », extrait de l'étude HSL [34, page 8], utilisé pour la méthode appelée « *BT* » et relatif au paramètre : « *frequency of exposure to hazard* », extrait de l'étude HSL [34, page 54], utilisé pour la méthode appelée « *Guardmaster Safebook* ».

Tableau 3 : Exemples de paramétrage semi-quantitatif de gravité et de fréquence d'exposition

Paramètre gravité selon « BT »			Paramètre fréquence d'exposition selon « Guardmaster Safebook »		
Major	3	Death or serious injury	Frequent	4	Several times per day
Serious	2	Over 3 days lost time	Occasional	2	Daily
Slight	1	Less than 3 days lost time	Seldom	1	Weekly or less

B.2.4 Quantitatif

Définition : utilisation directe de la donnée quantitative applicable au paramètre

L'exemple suivant de définition quantitative du paramètre : « *likelihood of the event occurring* » est extrait de l'étude HSL [34, page 39], dans la méthode appelée « *SCRAM* » :

« *Estimate the “likelihood of the event occurring” in terms of frequency per year.* »

Aucune méthode étudiée ne propose de définition quantitative pour le paramètre dommage.

B.2.5 Hybride

Définition : combinaison de plusieurs types de notation utilisés pour définir la valeur d'un seul paramètre.

Le tableau 4 montre un exemple de définition hybride du paramètre : « *severity of potential harm* », extrait de l'étude HSL [34, page 20], dans la méthode identifiée par « *HSL* ».

Tableau 4 : Exemple de paramétrage hybride du dommage (39)

Death	10
Major injury (RIDDOR reportable)	8
Injury resulting in 3 days absence or less	4
Injury requiring first aid only (no lost time)	1

L'application de cette classification est faite simplement en remplissant un tableau croisé.

Aucune méthode étudiée ne propose de définition hybride pour le paramètre probabilité.

³⁹ Dans ce cas, le paramétrage est qualifié « hybride », car il fait appel à une qualification des dommages dans trois cas et à une quantification dans un cas : « . . . in 3 days absence or less ».

ANNEXE C : COMPLÉMENT AUX RÉSULTATS DE NATURE TERMINOLOGIQUE

Tableau C. 1 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre gravité

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Gravité - Sévérité - Severity	38
Conséquence(s) - Consequence(s)	13
Gravité du dommage - Severity of harm	11
Consequence - impact - effect	5
Severity of injury	5
Hazard severity	4
Severity of consequences	3
Gravité des dommages potentiels - 'Severity of potential harm	2
Possible severity of injury (harm)	2
25 autres termes utilisés individuellement	1
Action risk	1
Anticipated losses	1
CHECKLIST	1
Conséquence d'une déviation	1
Consequences (severity)	1
Consequences or potential/severity of injury	1
Conséquences possibles	1
Damage	1
Degree of possible harm	1
Gravité des lésions ou endommagement	1
Gravité maximale du dommage	1
Gravité potentielle	1
Hazard in terms of severity	1
Hazard in terms of the potential to cause harm	1
Impact initial	1
Injury (machine)	1
Injury severity	1
Maximum probable loss	1
Mishap Severity	1
Severity (of the possible harm)	1
Severity of contact with hazard	1
Severity of injury or damage	1
Severity of injury/illness	1
Severity (of the possible harm)	1
Worst likely outcome	1

Tableau C. 2 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre probabilité d'occurrence d'événement dangereux

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Probability of occurrence of a hazardous (dangerous) event	5
Probabilité d'apparition d'un événement dangereux	4
Mishap Probability	3
Hazard probability	2
Accident Probability	1
Frequency of occurrence of hazardous events	1
Likelihood of an accident happening	1
Likelihood of occurrence	1
Likelihood of the event occurring	1
Likelihood of the hazardous event occurring	1
Likelihood that the potential consequences will occur	1
Likelihood the situation will happen	1
Probabilité	1
Probabilité associée à l'événement redouté (échelle continue)	1
Probabilité d'occurrence (situation dangereuse)	1
Probabilité événement dangereux	1
Probabilité événement indésirable	1
Probability of exposure to/contact with hazard	1
Probability of failure	1
Probability of health/safety damage from regular exposure to hazardous product	1
Probability of occurrence	1
Probability of occurrence of an event which can cause harm	1
Probability of unwanted occurrence	1

Tableau C. 3 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence d'exposition

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Frequency of exposure - Exposure frequency - Fréquence d'exposition	7
Frequency	3
Exposure - Exposition	2
Fréquence d'exposition aux phénomènes dangereux - Frequency of exposure to hazard	2
Frequency of access - of approach	2
Fréquence d'exécution de la tâche	1
Potential relié à la Fréquence de l'activité(PFA)	1
Exposition (Fréquence de survenue de l'événement danger)	1
Exposure to hazard	1

Tableau C. 4 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre durée d'exposition

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Durée d'exposition - Exposure duration	2
Uses	1
Duration of stay in hazard zone	1
Time of exposure	1
Period of action	1

Tableau C. 5 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence et durée

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Fréquence et durée d'exposition - Frequency/duration of exposure	6
Exposition - Exposure	2
Degree of exposure to hazard	1
Exposition/Fréquence	1
Exposure to hazard	1
Fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux	1
Frequency and duration	1
Frequency and exposure	1
Frequency and exposure time	1
Frequency of exposure and/or exposure time to the hazard	1
Frequency of occurrence	1
Frequency of processing which the hazardous event occurs	1
Frequency/duration of exposure of persons to hazard	1
Probability	1

Tableau C. 6 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre fréquence et durée sans précision

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Probabilité - Probability	11
Likelihood	9
Fréquence - Frequency	4
Frequency of occurrence	4
Frequency (per annum)	1
Incident probability	1
Occurrence	1
Occurrence initiale	1

Tableau C. 7 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre probabilité d'occurrence du dommage

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Probabilité d'apparition du dommage - Pb of an injury occurring - Pb d'occurrence du dommage - Pb of occurrence of harm - Probability or likelihood of harm occurring	8
Probabilité d'apparition - Probability of occurrence - likelihood of occurrence	4
Likelihood of harm - or loss	3
Probability of injury	2
Frequency of occurrence	1
Likelihood	1
Likelihood (probabilité du dommage et exposition)	1
Likelihood of the hazard causing an injury	1
Likelihood to cause harm	1
Probability of employee contact	1
Probability of injury if interlock fails	1
Probability of Mishap	1
Vulnerability	1

Tableau C. 8 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre probabilité d'occurrence d'événement dangereux

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Probability of occurrence of a hazardous (dangerous) event	5
Probabilité d'apparition d'un événement dangereux	4
Mishap Probability	3
Hazard probability	2
Accident Probability	1
Frequency of occurrence of hazardous events	1
Likelihood of an accident happening	1
Likelihood of occurrence	1
Likelihood of the event occurring	1
Likelihood of the hazardous event occurring	1
Likelihood that the potential consequences will occur	1
Likelihood the situation will happen	1
Probabilité	1
Probabilité associée à l'événement redouté (échelle continue)	1
Probabilité d'occurrence (situation dangereuse)	1
Probabilité événement dangereux	1
Probabilité événement indésirable	1
Probability of exposure to/contact with hazard	1
Probability of failure	1
Probability of health/safety damage from regular exposure to hazardous product	1
Probability of occurrence	1
Probability of occurrence of an event which can cause harm	1
Probability of unwanted occurrence	1

Tableau C. 9 : Termes utilisés et répartition pour le paramètre possibilité d'évitement

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Avoidance	4
Possibilité d'évitement du dommage - Possibility of avoiding harm	2
Possibility of avoiding or limiting harm - Possibilité d'éviter ou de limiter le dommage	2
Possibility of avoiding the hazard	2
Harm avoidance	1
Likelihood of detection by design control	1
Possibilité d'évitement	1
Possibility of avoiding the hazardous event	1
Possibility of detection	1
Possibility of recognition and avoidance	1
Possibility to avoid the harm	1
Possibility to escape the harm	1

Tableau C. 10 : Termes utilisés et répartition pour les autres paramètres

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Exposed people	2
Guarding factor - Guards	2
Class of probability of harm	1
Danger of trapping	1
Étendue du dommage	1
Expérience passée	1
Exposed population	1
Facteurs physiques et psychiques - P	1
Formation	1
Fréquence de la tâche	1
Frequencies of selected rare events	1
Human factors, Possibility to defeat or circumvent protective measures	1
Implantation du poste - E	1
Lack of protecting measures	1
Machine task history, Ability to maintain protective measures	1
Maintenance factor	1
Malfunction of the machine	1
Mission effects	1
More than one person exposed	1
Nature de l'accès à la zone à risque	1
Niveau de prévention ou de protection	1
Nombre de personnes impliquées	1
Normal adults	1
Number of persons at risk	1
Number of visits	1
Operational factor	1
Operator is unskilled or untrained	1
Organisation du travail - P	1
Pb of hazardous product	1
Pb of human error	1
People's exposition	1
Personal who perform the task	1
Potentiel relié à l'activité (PA)	1
Protracted time in the danger zone without complete power isolation	1
Qualification du personnel - P	1
Retour d'expérience	1
Speed	1
Very long intervals (1 year) between access	1
Vulnerable people	1
Workplace environment	1

Tableau C. 11 : Termes utilisés et répartition pour l'appellation des niveaux de risque

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées	Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
High - Élevé	34	area Q	1
Medium – M - Moyen	24	area R	1
Low, L	29	area S	1
B	13	blank area	1
Unacceptable -inacceptable	11	Catastrophique	1
A	10	Class I	1
C	10	Class II	1
Risk	9	Class III	1
Very high - Très élevé	9	Class IV	1
1	7	couleur blanche	1
3	7	couleur gris clair	1
Acceptable - Domaine acceptable - Acceptable without review	7	couleur gris foncé	1
2	6	Défaillance critique	1
d	6	Défaillance moyennement critique	1
Moderate	6	Défaillance non critique	1
Négligeable - Zone 2: risques négligeables	6	doubtful risk	1
-	5	Extreme	1
e	5	extremely low risk (1)	1
Intolérable - Zone 1: risques intolérables	5	gris	1
Possible	5	i	1
Sérieux	5	Indice de gravité	1
Substantial - Substantiel	5	Infime	1
4	4	Intermediate Region	1
Broadly acceptable - Peut-être Acceptable - Likely to be acceptable	4	IRPN = S + O + D	1
Extremely High	4	level 4	1
Faible	4	Level A	1
L	4	Level B	1
Acceptable with management review	3	Level C	1
f	3	Level D	1
Important (3)	3	Marginal	1
Tolérable	3	Minor (4)	1

Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées	Appellation utilisée	Nombre de fois mentionnées
Undesirable - Undesirable, management decision required	3	None	1
Very low	3	OM	1
ALARP	2	Over-dimensioned	1
Critical	2	Preferred	1
g	2	R1	1
Green	2	R2A	1
level 1	2	R2B	1
level 2	2	R2C	1
level 3	2	R3A	1
Priorité 1	2	R3B	1
Priorité 2	2	R4	1
Priorité 3	2	Red	1
R (grille)	2	Residual Risk	1
sans couleur	2	risque = gravité + exposition	1
SIL 1	2	S	1
SIL 2	2	shaded area	1
SIL 3	2	significant	1
Slight	2	Small (faibles)	1
	2	Très haut	1
0	1	Trivial	1
*	1	Use where practical	1
1a	1	Yellow	1
1b	1	Zone 3: risques de fréquence	1
1c	1	Zone 4: risque de gravité	1
2a	1	Zone 5: risque de fréquence et impact moyens	1
2b	1	Zone de "sécurité" (A)	1
above medium risk (5)	1	Zone de danger (C)	1
area P	1	'Zone où le risque atteint la limite d'acceptabilité (B)	1