

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL
(CONCENTRATION EN PRODUCTIQUE)**

**PAR
FLORENCE MOULET**

**ÉTUDE COMPARATIVE DES OUTILS D'ESTIMATION DES
RISQUES ASSOCIÉS AUX MACHINES INDUSTRIELLES**

DÉCEMBRE 2009

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur François GAUTHIER, mon responsable de mémoire pour l'aide inestimable qu'il m'a apporté afin de mener à bien la mission qu'il m'a confiée au cours de cette maîtrise. D'emblée il m'a fait confiance ce qui m'a permis de rapidement m'investir dans mon projet.

Je remercie d'autre part, l'ensemble du service sécurité des machines de l'IRSST et tout particulièrement Yuvin CHINNIAH, qui, à travers son accueil chaleureux, a toujours été disponible à mon égard et m'a spontanément apporté son aide, me permettant ainsi, dès les premiers jours, d'être à l'aise et de travailler dans les meilleures conditions.

SOMMAIRE

Cette étude comparative des outils d'estimation des risques associés aux machines industrielles repose sur une exploration systématique des possibilités théoriques d'un échantillon d'outils sélectionnés.

La démarche d'appréciation du risque présentée dans la norme internationale ISO 14121 (2007) est un processus global d'analyse et d'évaluation du risque, celle-ci repose d'une part sur l'**analyse du risque qui comporte la détermination des limites de la machine, l'identification des phénomènes dangereux, l'estimation du risque et sur l'évaluation du risque**. L'estimation repose sur l'étude de deux paramètres principaux: la gravité du dommage et la probabilité d'occurrence du dommage. Pour déterminer ce dernier paramètre, il est nécessaire de faire référence à des paramètres secondaires : l'exposition (durée et fréquence) aux phénomènes dangereux, la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux et la possibilité d'évitement du dommage. Les outils d'estimation du risque se présentent sous des formes très diverses.

Cette étude comporte trois objectifs. Le premier de ces objectifs est de comprendre le processus d'estimation du risque en faisant une exploitation systématique des performances théoriques d'un échantillon d'outils. Le second est de générer des connaissances en présentant les résultats obtenus. Enfin le troisième est de trouver des critères de construction d'un bon outil. Un échantillon représentatif de 31 outils a été retenu. La comparaison de ces outils entre eux, qui a concerné leur architecture (matrices, graphes de risques, opérations numériques et hybride), ainsi que leur contenu, a nécessité la construction d'échelles d'équivalence pour les différents paramètres retenus. Cela a permis d'établir des points communs, des différences, et d'en évaluer les conséquences au niveau des performances de l'estimation du risque. Cette étude a démontré que les outils étaient variés d'un point de vue architectural, ou au niveau des paramètres, ou encore au nombre de niveaux définissant les différents paramètres. Les définitions varient, elles aussi, à plusieurs niveaux et le non respect de la norme ISO 14121 peut s'expliquer partiellement par l'appropriation qu'en font les entreprises par rapport à leurs spécificités, leurs besoins, leurs préférences.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	I
SOMMAIRE.....	II
TABLE DES MATIÈRES.....	III
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
1. INTRODUCTION	1
2. APPRÉCIATION ET ESTIMATION DU RISQUE.....	3
2.1 NOTION DE RISQUE ET LES NORMES ISO 12100 ET ISO 14121.....	3
2.1.1 <i>Notion de risque dans la littérature</i>	3
2.1.2 <i>Les normes ISO 12100 et ISO 14121.....</i>	5
2.2 APPRECIATION DU RISQUE.....	7
2.2.1 <i>Analyse du risque</i>	8
2.2.2 <i>Évaluation du risque.....</i>	13
2.3 OUTILS D'ESTIMATION DU RISQUE	13
2.3.1 <i>Les paramètres principaux pour l'estimation du risque</i>	15
2.3.2 <i>Les paramètres secondaires pour la détermination de la probabilité d'occurrence du dommage</i>	17
2.4 LES DIFFERENTS TYPES DE CONSTRUCTION DES OUTILS.....	19
2.4.1 <i>Graphes de risque</i>	20
2.4.2 <i>Matrices</i>	20
2.4.3 <i>Cotations</i>	21
2.4.4 <i>Estimation du risque quantifié</i>	22
2.4.5 <i>Les méthodes hybrides</i>	22
3. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE	23
3.1 PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE	23
3.2 OBJECTIFS DE RECHERCHE	24
3.3 METHODOLOGIE	25
3.3.1 <i>Sélection de l'échantillon.....</i>	26
3.3.2 <i>Les échelles d'équivalence.....</i>	28

3.3.3 <i>L'analyse des échelles d'équivalence</i>	30
4. ÉLABORATION ET ANALYSE DES ÉCHELLES D'ÉQUIVALENCE.....	32
4.1 LES PARAMETRES PRINCIPAUX POUR L'ESTIMATION DU RISQUE	32
4.1.1 <i>La gravité du dommage</i>	32
4.1.2 <i>La probabilité d'occurrence du dommage</i>	41
4.2 LES PARAMETRES SECONDAIRES POUR LA DETERMINATION DE LA PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DU DOMMAGE	48
4.2.1 <i>L'exposition</i>	48
4.2.2 <i>La possibilité d'évitement du dommage</i>	59
4.2.3 <i>La probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux</i>	63
5. DISCUSSION.....	70
5.1. SYNTHÈSE AU NIVEAU DES PARAMETRES.....	70
5.1.1. <i>La gravité du dommage</i>	70
5.1.2 <i>La probabilité d'occurrence du dommage</i>	73
5.1.3 <i>L'exposition</i>	75
5.1.4 <i>La possibilité d'évitement</i>	77
5.1.5 <i>La probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux</i>	78
5.2 CONCERNANT LES OUTILS PRÉSENTES DANS LA NORME ISO 14121 (OUTILS #67 ET #91)	79
5.2.1 <i>La gravité du dommage</i>	79
5.2.2 <i>La probabilité d'occurrence du dommage</i>	79
5.2.3 <i>L'exposition</i>	80
5.2.4 <i>La possibilité d'évitement</i>	80
5.2.5 <i>La probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux</i>	80
6. PROFIL DE L'OUTIL TYPE.....	81
6.1 PARAMETRES ET NIVEAUX RETENUS.....	81
6.1.1 <i>Outil utilisant les paramètres principaux</i>	81
6.1.2 <i>Outil utilisant les paramètres secondaires</i>	82
6.2 RATIONALISATION DES DEFINITIONS	83
CONCLUSION	84
BIBLIOGRAPHIE	86
ANNEXES	91
ANNEXE 1: LISTE DEFINITIVE DES 31 OUTILS RETENUS	91

ANNEXE 2: ÉCHELLE D'EQUIVALENCE : GRAVITE DU DOMMAGE	96
ANNEXE 3: ÉCHELLE D'EQUIVALENCE: PROBABILITE D'OCCURRENCE DU DOMMAGE.....	100
ANNEXE 4: ÉCHELLE D'EQUIVALENCE: FREQUENCE D'EXPOSITION	103
ANNEXE 4: ÉCHELLE D'EQUIVALENCE: FREQUENCE D'EXPOSITION	103
ANNEXE 5: ÉCHELLE D'EQUIVALENCE: DUREE D'EXPOSITION	104
ANNEXE 6 : ÉCHELLE D'EQUIVALENCE : POSSIBILITE D'EVITEMENT.....	105
ANNEXE 7: ÉCHELLE D'EQUIVALENCE: PROBABILITE D'OCCURRENCE DE L'EVENEMENT DANGEREUX	106

LISTE DES FIGURES

Figure 1: La Courbe de Farmer	4
Figure 2: Appréciation du risque (ISO 14121-1, 2007).....	8
Figure 3: Approches de bas en haut et de haut en bas (ISO 14121-2, 2007)	10
Figure 4: Conditions d'occurrence du dommage (Source : Adapté de ISO 14121-2, 2007)	12
Figure 5: Les éléments du risque (Source: ISO 14121-1, 2007)	15
Figure 6: Exemple de graphe de risques (Source: ISO 14121, 2002)	20
Figure 7: Exemple de matrice de risques (Source: SUVA, 2002).....	21
Figure 8: Exemple de méthode hybride (Source: Mortensen, A, 1998).....	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Échelle d'équivalence pour la gravité du dommage avec les 5 outils choisis	29
Tableau 2: Définition des niveaux universels pour le paramètre gravité du dommage	33
Tableau 3: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre gravité du dommage	36
Tableau 4: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre gravité du dommage	40
Tableau 5: Définition des différents niveaux pour la probabilité d'occurrence du dommage avec des exemples d'outils	43
Tableau 6: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre probabilité d'occurrence du dommage.....	46
Tableau 7: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre probabilité d'occurrence du dommage.....	47
Tableau 8: Définition des différents niveaux pour la fréquence d'exposition avec des exemples d'outils	50
Tableau 9: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre fréquence d'exposition	52
Tableau 10: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre fréquence d'exposition	53
Tableau 11: Définition des différents niveaux pour la durée d'exposition avec des exemples d'outils.....	55
Tableau 12: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre durée d'exposition	56
Tableau 13: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre durée d'exposition	58
Tableau 14: Définition des différents niveaux pour la possibilité d'évitement avec des exemples d'outils.....	59
Tableau 15: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre possibilité d'évitement	60

Tableau 16: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre possibilité d'évitement	62
Tableau 17: Définition des différents niveaux pour la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux avec des exemples d'outils.....	64
Tableau 18: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux	66
Tableau 19: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux	68

1. INTRODUCTION

Ce travail, qui fait partie d'une thématique de recherche, a pour but de rendre compte de l'analyse théorique des outils d'estimation des risques associés aux machines industrielles.

Si aujourd'hui plus que jamais, la science et la technique nous aide à mieux vivre, elles nous ont aussi, par leurs effets indésirables, inconnus ou imprévisibles, fait entrer dans la société du risque. Cette notion de risque joue, de plus en plus, un rôle déterminant, en particulier dans le monde industriel. À travers une prise de conscience des organisations, celles-ci développent des processus d'identification, d'analyses et d'estimation des risques qui permettent dans le cadre de politiques sécuritaires, de caractériser les moyens de réduction du risque et de prioriser les interventions, dans le but de préserver la santé, l'intégrité physique et morale, et la vie des individus.

Annuellement au Québec, 13 500 accidents et 17 décès, sont attribués à des machines dangereuses (Paques et al., 2005a). Les outils d'estimation des risques associés aux machines permettent d'identifier des moyens de réduction des risques, décrits dans la norme ISO 12100 (Organisation Internationale de Normalisation, 2003). Les plus significatifs sont l'élimination des phénomènes dangereux par la conception ou la modification des machines, l'ajout de protecteurs fixes ou mobiles, la mise en place de dispositifs de sécurité et de procédures sécuritaires, la modification ou l'ajout de signalisation. Ces outils d'appréciation des risques contribuent à rendre les machines plus sécuritaires. La présente étude vise à générer des connaissances en faisant une exploration systématique des possibilités théoriques d'un échantillon d'outils, recensés à travers une étude de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail (IRSST), (Paques et al. 2005b), et à comparer les outils entre eux afin de déterminer s'ils sont équivalents d'un point de vue théorique. L'étude de Paques et al. (2005b) portant sur une analyse comparative de plusieurs outils d'estimation du risque, a nécessité de définir la notion d'appréciation du risque utilisée. Elle a ainsi permis d'identifier le risque, mais aussi de caractériser les moyens de réduction de celui-ci. Pour cela, la méthode d'appréciation du risque, définie dans les normes ISO 12100, *Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception* et

ISO 14121, *Sécurité des machines, Appréciation du risque*, a été utilisée. L'appréciation du risque permet d'identifier les paramètres principaux et secondaires, dont il faut tenir compte pour la construction des méthodes et outils d'estimation du risque et l'étude des différentes architectures ou types de construction de ces outils. Le problème de la performance et des limites des outils sera abordé dans un troisième temps par la réalisation d'échelles d'équivalence. Elles vont permettre l'analyse des outils pour l'estimation des risques. L'étude des paramètres principaux, gravité du dommage et probabilité d'occurrence du dommage, et des paramètres secondaires pour la détermination de la probabilité d'occurrence du dommage, c'est-à-dire l'exposition (fréquence et durée), la possibilité d'évitement du dommage, la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux, ainsi que l'étude des différents types de construction des outils vont rendre possible la réalisation d'une synthèse. Le but de cette synthèse est double : révéler les problèmes de différents ordres qui vont se poser et jeter les bases du profil de l'outil type, à travers le choix d'un type de construction, des paramètres et des niveaux retenus.

2. APPRÉCIATION ET ESTIMATION DU RISQUE

2.1 Notion de risque et les normes ISO 12100 et ISO 14121

2.1.1 Notion de risque dans la littérature

L'origine du mot risque vient du latin « *resecare* » (« couper », « ce qui coupe »). Daniel Bernoulli, en 1738, dans *Specimen theoriae novae de mensura sortis*, en apporte la première définition scientifique : « le risque est l'espérance mathématique d'une fonction de probabilité d'événements ». En termes plus simples, il s'agit de la valeur moyenne des conséquences d'événements affectés de leur probabilité. Le dictionnaire français Larousse Encyclopédie Larousse, en donne une définition plus abordable : « Possibilité, probabilité d'un fait, d'un événement considéré comme un mal ou un dommage, auquel on est exposé ». Ainsi un risque est le fait d'exposer une personne ou quelque chose à un événement ou une situation potentiellement dangereuse. Un risque est aussi la probabilité qu'un événement non-souhaité se produise malgré les efforts pour l'éviter. Une difficulté dans la gestion du risque est le fait que l'événement concerné, le dommage, se situe dans le futur. De cette notion de futur dérivent les notions de possible, de probable, de potentiel et parfois de risque émergent. L'homme est lui-même producteur de nouveaux facteurs de risques (industriels, sanitaires, toxicologiques, écotoxicologiques ou militaires par exemple).

Le risque se définit donc dans les normes ISO 12100 et ISO 14121 comme la combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage. Autrement dit, c'est l'interaction d'une probabilité d'un événement dangereux par la vulnérabilité de l'environnement au sens large. Il se caractérise par la combinaison de plusieurs facteurs pouvant survenir dans une situation dangereuse entraînant une atteinte à la santé physique et/ou psychique des personnes. Farmer (2008) propose à la figure 1 la « courbe de Farmer », une courbe empirique qui permet de différencier le risque acceptable du risque inacceptable. Un risque est défini comme acceptable lorsque l'on consent à vivre avec, en contrepartie d'un bénéfice et dans la mesure où il est contrôlé.

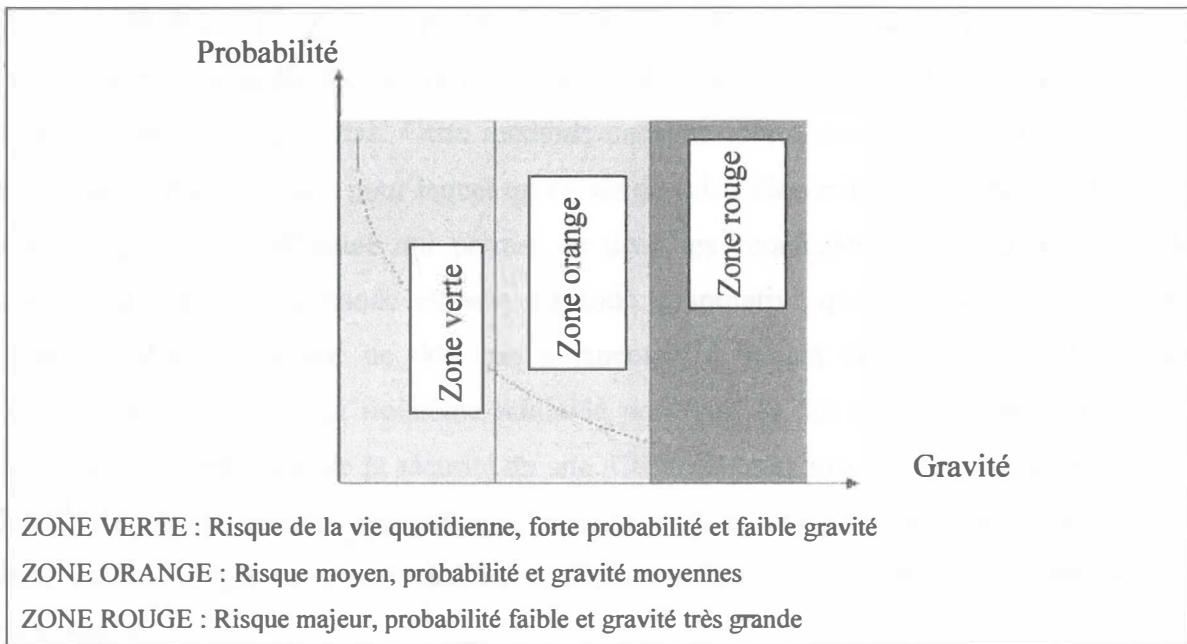


Figure 1: La Courbe de Farmer

(Source : www.planeteecologie.org/ENCYCLOPEDIE/EnvironEurope/seveso.htm)

Ainsi, le risque a bien deux composantes indépendantes : la gravité et la probabilité d'occurrence du dommage qui, elle-même dépend de la fréquence et de la durée d'exposition, de la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux et de la possibilité d'éviter le dommage.

Woodruff (2005) a mené une recherche basée sur une répartition qualitative du risque. Se rapprochant de la courbe de Farmer, Woodruff montre que dans les secteurs industriels et commerciaux à faibles risques, le risque peut être défini en trois zones : acceptable, tolérable et intolérable. Pour pouvoir définir ces trois zones, il utilise une matrice d'estimation du risque. L'avantage de cette méthode est qu'elle est numérique et donc qu'elle peut être incorporée dans une base de données : elle est utilisée pour les valeurs de gravité, d'exposition et de probabilité. Après avoir calculé ces valeurs pour connaître les limites du risque tolérable, l'information historique peut être utilisée pour supporter la décision d'affecter le risque dans l'une des trois zones.

Schäbe (2004) présente aussi différentes méthodes pour apprécier le risque. Les méthodes servent à définir le niveau d'intégrité du risque. Trois méthodes sont présentées : la première méthode exposée est une méthode qualitative et subjective qui situe directement le niveau d'intégrité de sécurité : méthode *Graph Risk*. Cette méthode consiste tout d'abord, à essayer de donner une représentation du processus, pour lequel on essaie de saisir l'incertitude. Ensuite, il est modélisé par un diagramme d'influence qui permet de tirer des conclusions pour l'axiomatique de la décision. La deuxième méthode est une méthode quantitative qui est basée sur le fait qu'un nouveau système technique ne doit pas augmenter le budget du risque (MEM : *Minimum Endogeneous Mortality*). La troisième méthode porte sur le fait qu'un système technique est équivalent à un contrôleur de la sécurité du site. Ces trois méthodes sont ensuite comparées. Les résultats de ces différentes approches coïncident mais avec quelques différences, ce qui est normal car le système de sécurité doit avoir une couverture plus importante dans les métiers les plus à risques.

2.1.2 Les normes ISO 12100 et ISO 14121

L'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation, élabore des normes internationales, incluant les normes sur la sécurité des machines. Une série de normes, classées par type, s'articule au sein des normes ISO en matière de sécurité des machines. Les normes de type A (normes fondamentales de sécurité) répertorient des notions fondamentales, des principes de conceptions et des aspects généraux relatifs aux machines. Les normes de type B (normes génériques de sécurité) traitent d'un aspect de la sécurité ou d'un moyen de protection valable pour une large gamme de machines, les normes de type B1 traitent d'aspects particuliers de la sécurité et les normes de type B2 traitent de moyens de protection.

Les normes de type C (normes de sécurité par catégorie de machines) traitent des prescriptions de sécurité s'appliquant à une machine particulière ou à un groupe de machines particulier. Les normes ISO 12100 et ISO 14121 sur lesquelles s'appuie cette étude, sont des normes de type A.

La norme ISO 12100, présentée sous le titre, *Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception*, s'organise en deux parties. La première traite de la méthodologie générale de base à respecter lors de la conception d'une machine ainsi que de l'élaboration de normes de sécurité pour les machines. La seconde partie propose des principes techniques à mettre en place. L'objectif de cette norme est de mettre à la disposition des concepteurs de machines, un ensemble de solutions leur permettant de produire des machines qui soient sûres dans le cadre de leur utilisation normale. Cette notion de sécurité des machines prend en compte la ou les fonctions prévues de la machine, pour toute sa durée de vie, avec une réduction du risque résiduel. Cette prévention, qui consiste à éviter des phénomènes dangereux (source du dommage) et à réduire les risques, prend en compte la machine elle-même ainsi que son interaction avec les personnes exposées et l'environnement. Elle s'applique sur différents facteurs géométriques, physiques, chimiques, électriques, mécaniques... et intègre le respect des principes ergonomiques. La connaissance et l'expérience de la conception, de l'utilisation, des incidents, des accidents et des dommages liés à la machine ainsi rassemblés, vont aider les concepteurs à intégrer la sécurité dans la conception des machines et permettre aux acquéreurs de s'équiper de matériels sécurisés, une des étapes fondamentales de la mise en place d'une politique sécuritaire en entreprise.

La norme ISO 14121, présentée sous le titre, *Sécurité des machine, Appréciation du risque*, comprend la présentation des principes ainsi que les lignes directrices de pratiques et les exemples de méthodes retenues pour permettre d'effectuer l'appréciation du risque. Elle décrit des procédures d'identification des phénomènes dangereux, d'estimation et d'évaluation des risques. Elle donne également des conseils sur les décisions à prendre en matière de sécurité des machines et sur le type de documentation nécessaire pour vérifier l'appréciation du risque qui a été menée. Cette politique sécuritaire relève de la démarche entreprise dans le cadre de cette norme, qui établit les principes généraux utiles pour atteindre les objectifs de réduction du risque spécifiés dans l'ISO 12100-1 :2003, qui est une partie de l'ISO 12100.

2.2 Appréciation du risque

Le rôle fondamental de l'appréciation des risques est à l'origine de chaque tentative pour réduire le niveau de risque. La méthode ou l'outil d'appréciation du risque choisi relève de différents facteurs tant liés à l'activité, à la culture d'entreprise ou à des préférences personnelles. Dans tous les cas, ce choix doit prendre en compte, non seulement la ou les machines concernées, mais aussi, les compétences, l'expérience et les préférences des préventionnistes. L'important reste la méthodologie systématique et rigoureuse d'appréciation du risque qui passe par l'identification des phénomènes dangereux et qui permet la réduction du risque en tenant compte de tous les éléments de risque (Réf : ISO 14121-2).

L'appréciation du risque est le processus global d'analyse et d'évaluation du risque. Les cinq étapes qui permettent l'analyse et l'appréciation du risque ont été définies dans la norme ISO 14121-1. On les retrouve présentés à la figure 2.

L'évaluation du risque consiste à établir, à partir de l'analyse du risque, si les objectifs de réduction du risque ont été atteints. Cette dernière étape du processus d'appréciation du risque consiste à porter un jugement sur le niveau de risque estimé. C'est à cette étape qu'est déterminé si ce risque est tolérable ou non.

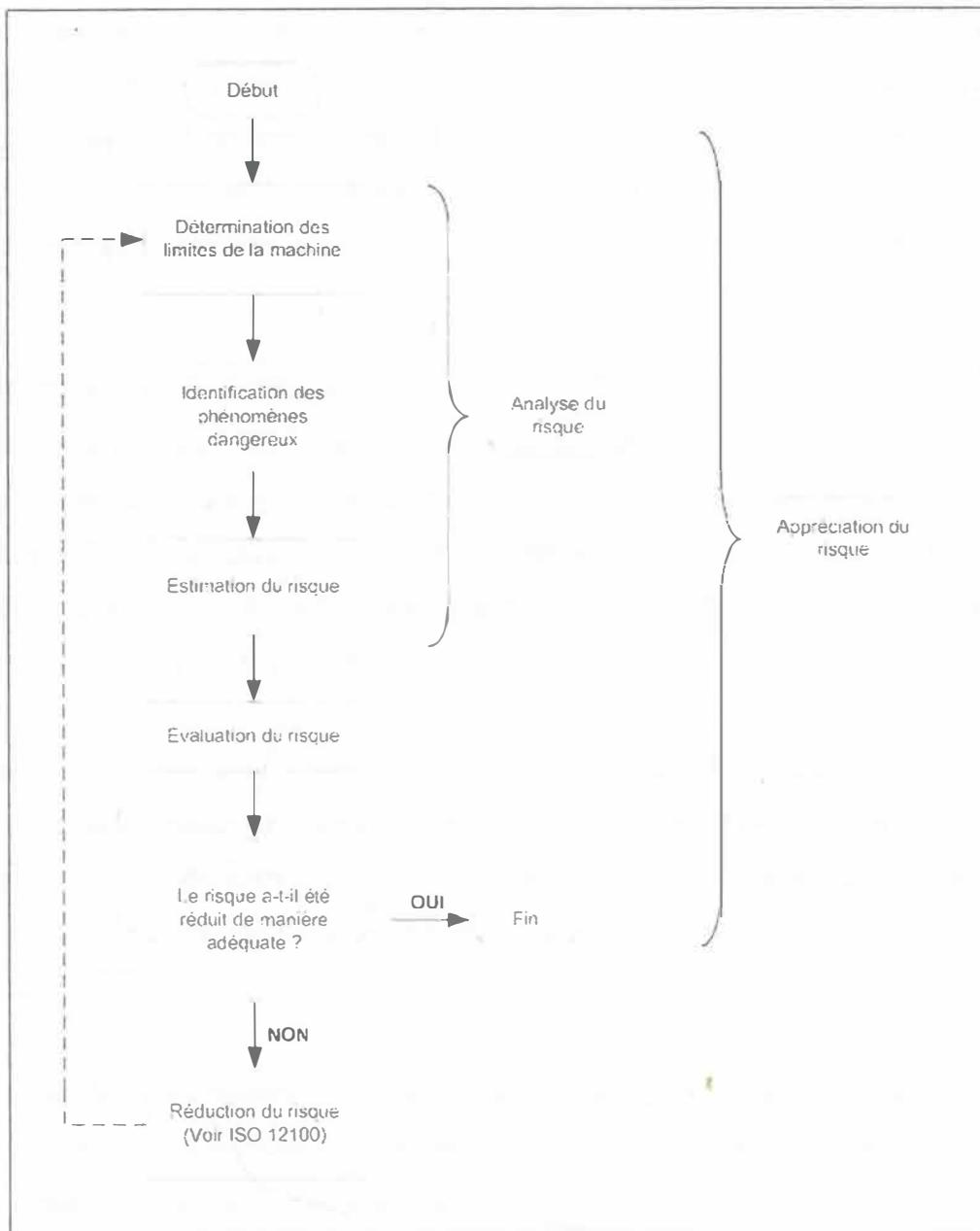


Figure 2: Appréciation du risque (ISO 14121-1, 2007)

2.2.1 Analyse du risque

L’analyse du risque est la combinaison de la détermination des limites de la machine, du repérage des phénomènes dangereux (aussi appelé identification) et de l’estimation du risque. La subjectivité de cette démarche a déjà donné lieu à plusieurs publications, comme la norme du

« Canadian Standards Association » (1991), avait déjà établi un récapitulatif de l'analyse des risques. Son but était de fournir des indications sur l'application du procédé de qualité, dans l'analyse des risques. Il présente un rappel des définitions utiles, des différentes méthodologies d'analyse des risques, qui reste d'actualité. Aujourd'hui, la réflexion se poursuit, en particulier à travers une recherche méthodologique plus objective, plus précise et plus spécifique.

2.2.1.1 Détermination des limites de la machine

Les limites de la machine sont, outre les fonctionnalités de la machine, ses limites techniques et de spécifications telles que pressions d'utilisation, force de fermeture, température maximale, amplitude maximale, défaillances prévisibles, fréquences d'entretien, et ses limites d'usage normal, de mauvais usage, de caractérisation des intervenants, des produits utilisés, ainsi que le type d'environnement pour lequel elle est prévue.

L'analyse du risque doit tenir compte, en particulier, de toutes les phases du cycle de vie de la machine, de tous les modes de fonctionnement, et des fonctions et tâches associées à la machine. Enfin il est important de noter l'interaction homme/machine, en soulignant l'impact du facteur humain, qui peut générer une situation dangereuse à travers un mauvais réflexe, une défaillance, une erreur.

L'implication des concepteurs, mais aussi des personnes effectuant la maintenance, dans l'analyse des tâches et des situations, est importante pour maintenir un niveau de risque bas dans toutes les phases du cycle de vie de la machine.

2.2.1.2 Identification des phénomènes dangereux

L'identification des phénomènes dangereux constitue l'étape la plus importante de l'appréciation du risque, car c'est à la suite de cette identification qu'il est possible d'en faire l'estimation. Cette identification est nécessaire pour dresser une liste de phénomènes, situations, événements dangereux, dommages possibles. Pour cela, on peut se référer aux normes relatives à un

phénomène dangereux spécifique ou à un type de machine spécifique. L'identification des phénomènes dangereux se réalise selon la figure 3, sur laquelle une étude de haut en bas est menée, c'est-à-dire du dommage vers le phénomène dangereux, où inversement à partir du phénomène dangereux jusqu'au dommage.

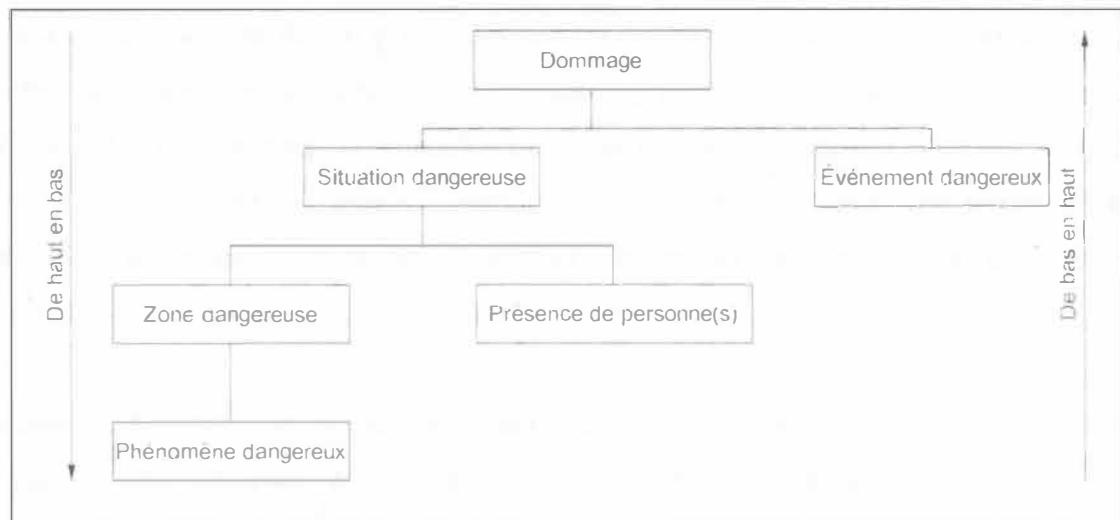


Figure 3: Approches de bas en haut et de haut en bas (ISO 14121-2, 2007)

L'identification d'un phénomène dangereux permet d'apprécier le risque, et ainsi de pouvoir mettre en place une action de réduction des risques associés. Toutes les informations relatives à l'identification des phénomènes dangereux doivent être écrites pour faire référence. Ainsi, dans l'aide-mémoire publié en collaboration avec l'IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail), et de la CSST (Commission de la santé et de la sécurité du travail), intitulé « Sécurité des machines : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages » (2004), sont répertoriés les phénomènes dangereux les plus courants, les situations dangereuses et les événements liés au dommage. Les phénomènes sont classés selon leur origine : mécaniques, électriques, thermiques, bruits, vibrations, rayonnements et dangers engendrés par des matériaux, des produits, des contaminants et des dangers engendrés par le non respect des principes ergonomiques.

2.2.1.3 Estimation du risque

L'estimation des risques découle directement des deux premières étapes. Réalisée à l'aide d'outils spécifiques, elle quantifie ou donne un résultat chiffré du risque : indice de risque et niveau de danger chiffrés, score de risque.

L'estimation du risque se définit par la gravité d'un dommage, c'est-à-dire, la gravité de la ou des blessures physiques ou à l'atteinte de la santé physique ou psychique, et la probabilité d'occurrence de ce dommage. L'estimation du risque permet de comparer entre eux les indices de risques. Cette comparaison relative permet, par exemple, d'établir une priorité d'actions. L'estimation du risque permet de déterminer un niveau de risque pour chaque scénario d'accident.

La gravité du dommage est liée au risque identifié. L'idée est que même si un outil de travail, en l'occurrence une machine industrielle, n'est pas à priori dangereux, il pourrait l'être potentiellement. La situation dangereuse peut-être définie par rapport à l'exposition à un phénomène dangereux. L'estimation du risque, qui nécessite la prise en compte de nombreux paramètres, est en plus liée à la subjectivité des individus qui y sont confrontés. Ainsi, dans la probabilité d'occurrence du dommage, il est à prendre en compte l'exposition de personne(s) aux phénomènes dangereux, la probabilité d'occurrence d'un évènement dangereux ainsi que les possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage. La figure 4 synthétise de façon concrète les conditions d'occurrence du dommage.

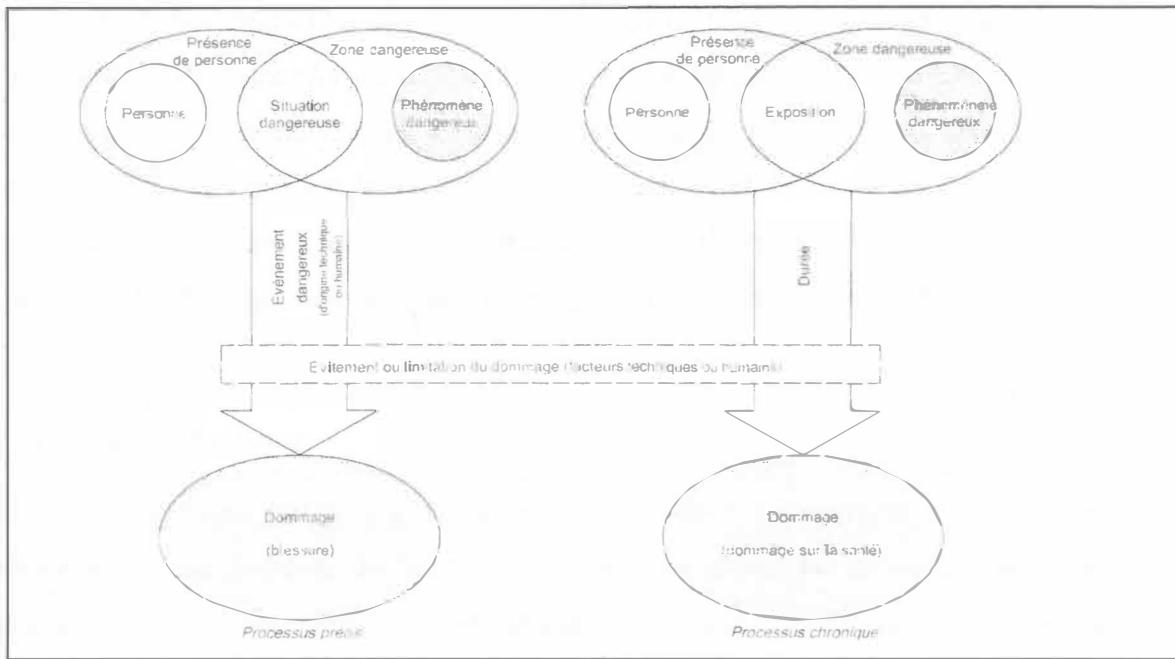


Figure 4: Conditions d'occurrence du dommage (Source : Adapté de ISO 14121-2, 2007)

Orsoni (2006), propose une méthodologie permettant d'obtenir une expérience objective en associant les mesures quantitatives du risque et le dommage potentiel de ce risque. Pour expliquer cette méthodologie, l'auteur utilise des modèles mathématiques. Cette approche hybride combinant une logique vague et une simulation conduit à une expérience objective et rend disponible les règles d'association susceptible de cumuler des mesures quantitatives de risques et des dommages potentiels pour accéder à un plan caractéristique.

Dans le cadre d'une étude sur la dynamique entourant la prévention dans les entreprises, Simard et al. (1986) démontrent que l'estimation des risques est liée à la prise de conscience des problèmes de santé et sécurité au travail. C'est pourquoi l'importance du contexte organisationnel, en particulier la politique de sécurité mise en place dans le cadre de la culture d'entreprise est aussi un facteur déterminant. Ainsi, plus les problèmes de santé et de sécurité du travail sont importants, plus les dirigeants seraient disposés à mettre en place des moyens et des ressources pour les résoudre et ainsi limiter les coûts rattachés aux accidents. C'est ce que souligne Etherton (2007), qui présente plusieurs méthodes et outils pour estimer le lien existant entre l'estimation du risque théorique lié à la machine et l'estimation du risque lorsqu'il est

intégré à un outil d'évaluation du risque. Ainsi, l'auteur en vient à démontrer que l'estimation du risque joue un rôle dans la détermination de la politique à mettre en œuvre, concernant les mesures de prévention des risques. La culture d'entreprise, face au risque, apparaît donc comme un élément clé, car elle est le produit d'une valeur individuelle et collective, d'attitudes, de compétences, et de modèles de comportement. Elle détermine l'engagement, le style et la compétence des gens qui oeuvrent dans les programmes de santé et sécurité de l'entreprise.

2.2.2 Évaluation du risque

L'évaluation du risque fait suite à son estimation et consiste à déterminer si ce risque est tolérable ou non et s'il est possible de mettre en œuvre une démarche de réduction du risque sans augmentation du risque global, ni introduction de risques supplémentaires. Les mesures de réduction du risque s'appliquent aussi bien sur les risques faibles que sur les risques plus élevés qui peuvent nécessiter une évaluation du risque plus approfondie. Généralement, la réduction du risque est obtenue par l'élimination du phénomène dangereux ou la mise en place de mesures de protection supplémentaires par rapport à la machine et par rapport aux personnes intervenant sur celle-ci, conformes à l'ISO 12100, et en émettant des recommandations élaborées lors de l'appréciation du risque.

Une fois toutes les mesures de réduction du risque mises en place, une nouvelle évaluation du risque est nécessaire, de façon à faire le point sur celles-ci et si nécessaire d'effectuer de nouvelles rectifications. Cette nouvelle évaluation, comme la précédente, doit être consignée, puisqu'elle représente une nouvelle base d'amélioration potentielle ainsi qu'un support pour la rédaction des informations et consignes pour l'utilisation future.

2.3 Outils d'estimation du risque

Durant les dernières décennies, plusieurs outils ont été développés par différentes organisations au sein des entreprises dans le but d'améliorer la définition des paramètres et le procédé d'estimation du risque dans son ensemble (Main, 2002). Pour estimer le risque, ces outils utilisent

diverses méthodes, telles que les matrices et les graphes des risques, l'évaluation numérique ou l'estimation quantifiée du risque. La gravité du dommage constitue généralement le paramètre le plus utilisé, suivi de la probabilité d'occurrence de ce dommage (ISO 14121-1, 2007).

Un certain nombre de parutions concernent le développement de ces méthodes et outils d'appréciation des risques. Diverses méthodes, dans la publication Lamy et al. (2009), sont testées afin de mettre les résultats en corrélation pour réduire les différences d'appréciation. Dans une première phase, le rapport de Paques et al. (2005b), présente une analyse de la bibliographie disponible afin de classer les différentes méthodes et outils d'appréciation du risque. 275 documents mentionnant des outils d'appréciation des risques industriels ont été recueillis. Ces outils viennent de provenances différentes. En effet, certains viennent de compagnies, de guides, de normes, de livres et de parutions. Grâce à cette diversité de provenance, l'étude est documentée et riche en informations, ce qui permet d'avoir une meilleure comparaison de ces outils d'estimation des risques. Après analyse de ces documents, 108 outils appliqués ou applicables aux risques associés aux machines dangereuses ont été codés, classés et analysés à partir des formulaires établis. Cette étude permet de classer sur le plan théorique les outils d'estimation du risque, de les étudier et d'en identifier les points communs ou particuliers. Le classement de ces divers documents a été réalisé sur la base de la construction des différents outils. Certains outils ont une construction de type matricielle, d'autres se présentent sous la forme de graphique, ou encore de calculs mathématiques. Ceci a permis d'identifier des familles d'outils d'estimation des risques associés aux machines industrielles. De cette analyse, il ressort qu'il vaut mieux utiliser des méthodes simples et facilement exploitables (matrice ou graphe) pour que la personne qui réalisera l'analyse des risques, ait des facilités à choisir les valeurs pour identifier les différents paramètres à coter. De plus, la comparaison de ces outils d'estimation des risques présente plusieurs difficultés comme :

- la variation dans la nature du paramètre,
- le nombre de paramètres,
- la notation des paramètres,
- la façon de déterminer le résultat final,
- la terminologie utilisée pour qualifier le résultat.

Pour comparer des situations de travail ou hiérarchiser des actions, il est donc préférable d'utiliser la même méthode d'estimation des risques.

Leur classement en paramètres principaux et paramètres secondaires contribue à rendre plus fiable l'estimation du risque. Mais il apparaît qu'une des principales difficultés, concernant les outils d'appréciation du risque, concerne ces paramètres utilisés, du fait de leur subjectivité. En effet, si la terminologie de chaque paramètre est commune, la définition et l'évaluation de celui-ci varient avec chaque outil. En effet, certains donnent des définitions précises, d'autres, juste des mots. Quant à l'estimation de l'indice de risque, certains utilisent deux niveaux, d'autres vont jusqu'à cinq niveaux, ce qui pose un réel problème de réajustement lors de la comparaison des outils.

2.3.1 Les paramètres principaux pour l'estimation du risque

La figure 5 présente les différents paramètres qui définissent le risque.

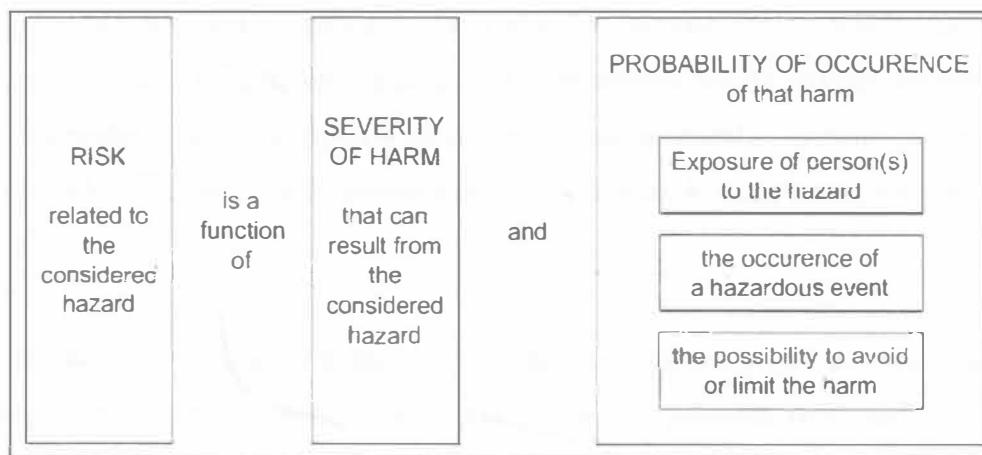


Figure 5: Les éléments du risque (Source: ISO 14121-1, 2007)

Cette figure présente d'une part les paramètres principaux (la gravité du dommage et la probabilité d'occurrence du dommage) et d'autre part les paramètres secondaires (la fréquence et la durée d'exposition, la possibilité d'évitement et la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux).

2.3.1.1 La gravité du dommage

La gravité exprime l'importance du dommage. Comment évaluer la gravité des dommages ? Il existe, par exemple, plusieurs façons de définir les victimes d'un accident, il n'y aura donc pas de consensus par rapport à la gravité du dommage. C'est pourquoi il est nécessaire de déterminer les frontières du dommage et de sa gravité. Celles-ci peuvent être présentées en trois facteurs (ISO 14121-1, 2007) :

- la nature de ce qui est à protéger : personnes, biens et/ou environnement,
- la gravité des lésions ou l'atteinte à la santé.
- l'importance du dommage : une ou plusieurs personnes concernées.

2.3.1.2 La probabilité d'occurrence du dommage

Le mot probable signifie « qui peut se produire » dans le cas de futures éventualités (Le Petit Robert, définition du mot « probable », <http://lerobert.demarque.com/fr/ca/dictionnaire-en-ligne/>). Cette définition, à elle seule, souligne la difficulté que cette notion soulève. Outre de nombreuses recherches mathématiques, la notion de probabilité a suscité une abondante littérature, en particulier au sein des organisations professionnelles. D'ailleurs, les travaux de Cox (1946) sur les probabilités conduisent à considérer, toute probabilité comme subjective, c'est-à-dire propre au vécu personnel de l'observateur, et qui évolue, à mesure que ses connaissances se raffinent.

Cette subjectivité se concrétise à travers le vocabulaire employé, c'est ce que soulignent Wallsten et al. (1986). L'expérience présente une procédure de comparaison pour établir et évaluer les degrés des termes décrivant les degrés de probabilités. La première comparaison consiste à juger le degré qu'une probabilité est plus appropriée, pour décrire un degré de probabilité. La deuxième comparaison consiste à montrer comment un terme est meilleur qu'un autre pour décrire une probabilité spécifique. Il ressort de cette expérimentation, la confirmation que la notion de probabilité est subjective est qu'il est difficile d'avoir une même réponse, car chaque individu a un jugement indépendant et une vision différente de cette notion.

Beyth-Marom (1982) va plus loin dans sa démarche expérimentale, qui prend place dans l'organisation professionnelle de la prévision, afin de définir la notion de probabilité et d'essayer de lui donner un cadre plus rigide. En effet, dans cet article, l'auteur mène une méthodologie en deux parties. La première consistait à récolter une trentaine d'expressions différentes de probabilité. La deuxième expérimentation consistait à sélectionner quinze paragraphes, qui contenaient chacun une expression de probabilité, afin de donner une traduction numérique de chaque expression de probabilité. Les résultats démontrent qu'il existe une haute variabilité dans l'interprétation des expressions verbales de probabilité, mais aussi que la variabilité de l'interprétation est souvent plus importante lorsque les expressions émanent du contexte.

La probabilité du dommage est fonction de quatre paramètres secondaires, selon la norme ISO 14121-1 :

- la fréquence et la durée d'exposition au phénomène dangereux
- la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux ;
- la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage.

2.3.2 Les paramètres secondaires pour la détermination de la probabilité d'occurrence du dommage

La probabilité d'occurrence d'un dommage est un facteur important de l'estimation du risque. Par expérience, tout événement imprévisible peut survenir. Cette affirmation peut être considérée comme exagérée, lors de la construction d'une machine. C'est pourquoi la norme intègre les notions de fréquence et de durée d'exposition, ainsi que la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux et la possibilité d'éviter le dommage.

2.3.2.1 L'exposition aux phénomènes dangereux

L'estimation de l'exposition au phénomène dangereux requiert l'analyse et la prise en compte de tous les modes de fonctionnement de la machine et de toutes les méthodes de travail. Cela s'applique aussi aux besoins d'accéder à cette machine lors de réglages, de changement ou de

correction du processus, de nettoyage, de recherche de défauts et de maintenance. Néanmoins, il subsiste une marge importante, concernant la fréquence et la durée de l'exposition, qui sont, pour une part, basées sur le jugement professionnel.

La fréquence d'exposition est déterminée pour mener des appréciations préliminaires des risques, il faut tenir compte de la fréquence des visites du site (nombre de jours par année, ou nombre de fois par jour ou par heure...), mais aussi du nombre et de la variété des personnes devant accéder au poste de travail : employés, hommes de maintenance, visiteurs, etc.

La durée d'exposition est utilisée pour comptabiliser en nombre d'heures par jour, ou nombre de jours par année. Mais, la durée d'exposition peut être aussi mesurée en fonction de la notion de continuité ou pas, sur le poste de travail. Ainsi l'exposition peut être déterminée en prenant en compte (ISO 14121-1, 2007) :

- le besoin d'accéder à la zone dangereuse (pour le fonctionnement normal, la maintenance ou la réparation),
- la raison de l'accès (l'alimentation manuelle de matières),
- le temps passé dans la zone dangereuse,
- le nombre de personnes devant y accéder,
- la fréquence d'accès (CSST/IRSST, 2004).

2.3.2.2 La probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

Pour évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux, il est nécessaire de prendre en compte divers paramètres, comme la fiabilité des techniques utilisées, les données statistiques concernant cet évènement dangereux, l'historique d'accidents de même type, les atteintes à la santé qui en ont découlé et la comparaison des risques similaires. Il est important de souligner que cette occurrence de l'évènement dangereux peut être d'origine technique comme humaine.

2.3.2.3 La possibilité d'évitement du dommage

La situation de « presqu'accident » est analysée et engendre la mise en place de mesures de sécurité adaptées. Cette possibilité d'évitement repose sur la possibilité technique, (substitution), la possibilité par protection (port des équipements de protection individuels, EPI), l'humaine, (expérience) et sur le bon réflexe (éviter ou limiter un dommage). Ainsi la possibilité d'évitement, qui permet d'empêcher que le dommage se produise ou de le limiter, est déterminée en fonction (ISO 14121-1, 2007):

- des travailleurs qui utilisent la machine
- de la rapidité d'apparition du phénomène dangereux
- de la conscience de l'existence du phénomène dangereux
- de la possibilité pour le travailleur d'éviter ou de limiter le dommage (par exemple, action, réflexe, agilité, possibilité de fuite)

2.4 Les différents types de construction des outils

Plusieurs types de constructions des outils ont été élaborés dans le processus d'appréciation du risque. Ce ne sont pas les seules utilisées et il faut garder en mémoire, d'une part, que chaque situation réelle est particulière puisqu'elle varie selon son environnement, ou son infrastructure, et d'autre part que les personnes choisissant ces méthodes et outils, seront peut être influencées par de nombreux facteurs et par leur propre subjectivité. Cette situation va donc entraîner des résultats différents. Par exemple, Cho et al. (2002) propose une nouvelle méthodologie pour considérer l'estimation des risques. Cette méthodologie est basée sur trois approches : la simple analyse de fréquence des données historiques, la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux, probabilité obtenue par la combinaison des probabilités selon des règles logiques (ET/OU), et sur la probabilité d'occurrence des dommages.

Ces trois approches ont permis de modéliser l'incertitude de l'exposition d'un risque en se référant à la quantification explicite des probabilités et des conséquences potentielles basées sur toutes les informations disponibles concernant ce risque.

2.4.1 Graphes de risque

L'estimation du risque se réalise par l'intermédiaire d'un graphe de risque. Généralement, les quatre paramètres suivants interviennent dans la réalisation du graphe : la gravité du dommage, la fréquence et/ou la durée d'exposition au phénomène dangereux, la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux et la possibilité d'évitement ou de réduction du dommage. Un indice de risque est attribué à chaque situation dangereuse, à la suite de quoi, une démarche de réduction des risques peut être entreprise. La figure 6 présente un exemple de graphe de risques.

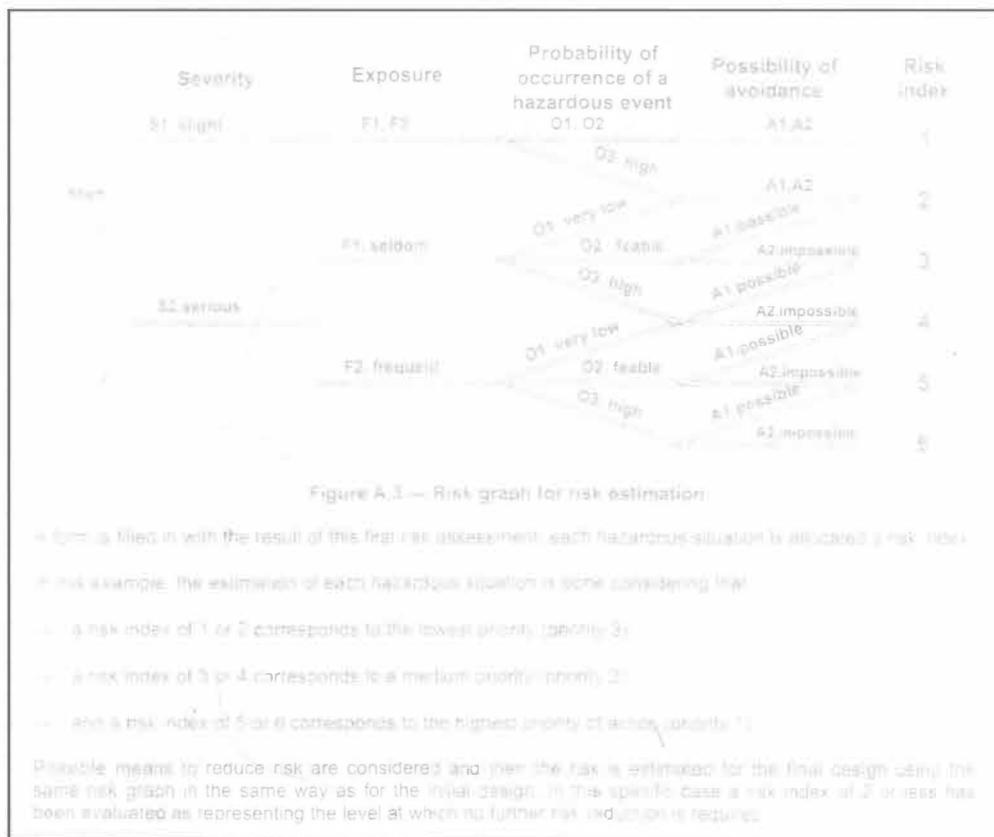


Figure 6: Exemple de graphe de risques (Source: ISO 14121, 2002)

2.4.2 Matrices

Si cette méthode est simple, rapide, efficace, elle repose sur une grande subjectivité, notamment en ce qui concerne le bon jugement des personnes en charge de l'évaluation du risque, c'est pourquoi il est préférable qu'elle soit conduite par des personnes connaissant bien la zone à

risque ou travaillant directement sur la machine concernée (ISO 14121-1, 2007). L'approche avec matrice comporte quatre étapes :

- Choix d'une matrice de risque.
- Évaluation de la gravité.
- Évaluation de la probabilité.
- Déivation du niveau de risque à partir de la gravité et de la probabilité, toutes deux évaluées.

La figure 7 présente un exemple de matrice de risques.

	V	N	S	B	R
A	3	2	1	1	1
B	3	2	1	1	1
C	3	2	2	1	1
D	3	2	2	2	1
E	3	3	3	2	2
	V	N	S	B	R

Exemple de matrice de risques

Zone 1 Risques importants
la sécurité n'est pas assurée

Zone 2 Risques moyens
la sécurité n'est pas assurée

Zone 3 Risques faibles
la sécurité est en grande partie assurée

Tableau III Définition des zones

Figure 7: Exemple de matrice de risques (Source: SUVA, 2002)

2.4.3 Cotations

Avec ce type d'outil, le risque est évalué sous forme de chiffres. Ainsi à un niveau de risque acceptable, correspond un chiffre spécifique dans une plage numérique. Du risque le plus faible au risque le plus élevé, l'échelle des nombres permet un résultat plus affiné que l'utilisation de termes qualitatifs.

2.4.4 Estimation du risque quantifié

C'est la méthode d'estimation du risque pour l'estimer quantitativement. Il est nécessaire, au préalable, d'identifier le phénomène dangereux. L'étude est basée sur la constitution d'un arbre des causes, découlant des causes de l'accident. Le risque estimé est exprimé sous forme d'une fréquence annuelle des différents niveaux de dommage permettant d'effectuer des comparaisons avec des statistiques d'accidents du secteur.

2.4.5 Les méthodes hybrides

Ce type de méthode quantifie les paramètres qualitatifs, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une méthode hybride qui combine une cotation numérique et une matrice.

Class: Ci
0 is the class. If, F_r and A_c are the continuous factors that form the probability of occurrence of harm as described in ISO 14121-1:2003, 1.2.1. Each of the three factors should be estimated independently of each other. More credible assumption should be used for each factor. F_r , F_h and A_c are added together in Ci. The Ci is the sum of F_r , F_h and A_c : $Ci = F_r + F_h + A_c$.
Evaluation of the risk
The risk is evaluated by using the matrix in the middle of the upper part of the form. See Table A-2:
Where the severity, S_0 , crosses the class, Ci, in the black area protective measures have to be implemented to reduce risk.
Where the severity, S_0 , crosses the class, Ci, in the grey area protective measures are recommended to be implemented to further reduce risk.
Where the severity, S_0 , crosses the class, Ci, in the remaining area the risk is already adequately reduced.

Figure 8: Exemple de méthode hybride (Source: Mortensen, A, 1998)

La figure 8 présente un exemple de méthode hybride. La classe représente, dans cet exemple, la somme de la fréquence, de la probabilité et de l'évitement. L'intersection de la gravité et de la classe indique le niveau de mesure de protection à mettre en place.

3. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

3.1 Problématique de la recherche

La problématique de la recherche se situe à plusieurs niveaux. Il est essentiel d'en souligner trois incontournables.

D'abord la diversité des outils, qui apparaît à plusieurs niveaux. L'étude de leurs origines montre que certains sont issus de guides, de normes, d'autres, de compagnies, c'est-à-dire qu'ils ont été élaborés dans des conditions différentes avec des points de vue et des objectifs différents. Par exemple, la comparaison d'un outil créé sur la base de normes, dans le but de respecter ces normes, montre qu'il est différent, dans sa façon d'aborder les choses par rapport à celui élaboré par des compagnies, qui ont plus le souci de rentabilité. Les normes ont pour objectif de réduire au maximum les accidents du travail dans l'optique d'éviter les jours de travail perdus et les dégâts occasionnés à l'outil de travail. C'est pourquoi il est difficile de comparer les outils entre eux. Il est donc nécessaire de trouver un référentiel de comparaison. La seconde diversité relevée, concerne la prise en compte des paramètres. Tous ne prennent pas en compte les mêmes paramètres. Par exemple, certains vont utiliser la probabilité d'occurrence du dommage, d'autres non, certains vont considérer l'exposition, en prenant en compte la durée et la fréquence d'exposition, alors que d'autre vont englober ces deux paramètres en un seul.

Ensuite, il existe un réel problème de subjectivité à divers niveaux. La terminologie, les définitions et l'interprétation des mots peuvent être différentes et donc entraîner une compréhension divergente de cette terminologie. Quant à la définition des divers niveaux des paramètres principaux et secondaires considérés, elle reste le problème le plus récurrent. Ainsi, on est amené à avoir une diversité importante des résultats pour une même situation.

selon les outils utilisés. Par exemple, certains outils considèrent qu'une coupure à un doigt est un dommage négligeable, d'autres vont considérer, au contraire, que c'est un dommage non négligeable puisque cela peut avoir des suites graves d'infection ou de mauvaise cicatrisation, souvent rétractile, entraînant une gêne dans les mouvements fins de la main.

Enfin, le poste de travail et son environnement sont tous uniques, de part leur agencement et le matériel installé. Ainsi, dans un même type de machines, il existe plusieurs machines différentes. Par exemple, en ce qui concerne les presses, il va exister une multitude de modèles, qui présentent chacun des risques à la fois similaires, différents et additionnels.

La problématique est donc de pouvoir comparer les outils entre eux de façon à avoir des résultats fiables. Mais comment comparer ces outils, comment en identifier les défauts de construction qui vont « fausser » les estimations des risques ?

3.2 Objectifs de recherche

L'objectif de ce travail est de mieux comprendre les limites et les performances d'un échantillon d'outils afin de définir les bonnes pratiques, les caractéristiques désirables de ces outils et d'en identifier les lacunes, comme par exemple l'impact théorique des outils. Cette recherche va porter essentiellement sur les paramètres et leurs nombres de niveaux seulement, moins sur l'architecture même de l'outil, car les résultats des estimations ne seront pas comparés. La comparaison de ces outils, permettant l'estimation des risques, devrait permettre de définir les critères de construction d'un bon outil (robustesse, fiabilité, avec un « productif » des résultats intra et inter utilisateurs). La comparaison des outils entre eux s'articule autour de deux démarches :

1. Identifier et comprendre les défauts de construction des outils et comparer leurs différentes constructions (architectures) : construction d'outil à un seul paramètre, deux, plus de deux ..., présentés sous forme de matrice, graphe, calculs numériques..., de façon à permettre une lecture communes de ces outils.

-
2. Comparer les niveaux de chaque paramètre en faisant une analyse comparative et développer des échelles d'équivalence. Les contenus des différents paramètres peuvent être traités comme équivalents à certains critères ou points de vue, afin de les évaluer puis de les comparer pour chaque outil étudié. Les frontières de niveau, arbitraires, ainsi que l'interprétation des résultats de ce travail peuvent, bien sûr, susciter des objections relatives au réalisme de ces conventions.

3.3 Méthodologie

Le projet est réalisé par une équipe de recherche formée par trois organismes différents : l'Université du Québec à trois Rivières (UQTR), l'Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, Montréal (IRSST) et le *Health Safety Laboratory*, Buxton Angleterre (HSL).

La méthodologie a consisté à retenir un échantillon représentatif d'outils d'estimation des risques associés aux machines industrielles (31 outils et ou méthodes) selon des critères de sélection. Ensuite, il a été nécessaire de mettre en place des échelles d'équivalence. L'échelle d'équivalence est une « méthodologie statistique », utilisée le plus souvent par les sciences sociales quantitatives et qui est en général présentée en deux parties bien distinctes, rarement reliées entre elles : d'une part, la construction des données, puis, d'autre part, leur traitement et leur interprétation.

Les échelles d'équivalence ont été élaborées pour les paramètres suivants de ces 31 outils, afin de les comparer dans l'absolu :

- la gravité du dommage
- la probabilité d'occurrence du dommage
- la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux
- la durée et/ou fréquence d'exposition
- la possibilité d'évitement du dommage

Une fois les échelles d'équivalence construites, l'analyse de ces dernières a permis de faire ressortir des ressemblances et/ou des différences concernant la performance des outils. Tout au long du projet les trois équipes de recherche se sont répartis le travail tout en se consultant afin d'avoir un travail le plus homogène possible.

3.3.1 Sélection de l'échantillon

Au début de cette analyse, 108 outils provenant d'une étude antérieure (Paques et al, 2005b) ont été sélectionnés. Ces 108 outils ont été classés dans une base de données ACCESS, pour permettre l'accès rapide à la fiche d'identité de chaque outil. A ce moment ci de l'étude, l'attribution d'un nom et d'un numéro à chaque outil a été réalisée, afin de pouvoir travailler sur la même base et pour éviter les erreurs d'identification des outils.

L'étude des outils s'est réalisée en trois étapes :

1. L'analyse des outils qui ne sont construits ni sur le modèle d'une matrice ni sur le modèle d'un graphe ; ceux construits sur ces modèles ayant été d'emblée pris en compte dans cette étude.
2. L'étude de ces outils, afin de savoir si leur construction sur un modèle de matrice ou de graphe est possible. Certains outils construits avec une opération de calcul ont pu être retenus, car ils étaient transposables en graphes.
3. L'élimination des autres outils s'est réalisée lorsqu'ils manquaient des paramètres ou que leurs paramètres étaient mal définis, selon la démarche suivante :
 - Élimination des méthodes qui utilisent des paramètres autres que ceux définis dans la norme ISO 14121 soit : le paramètre « autres paramètres », puisque ces outils ne sont pas représentatifs des outils les plus courants ; seulement quelques outils avaient plus de paramètres que les six (gravité du dommage, probabilité d'occurrence du dommage, fréquence d'exposition, durée d'exposition, probabilité d'évitement du dommage, probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux);
 - Élimination des méthodes qui utilisent un paramètre de probabilité non précisée, car ces méthodes produisent des résultats incohérents selon l'utilisateur (on ne sait pas de quelle

probabilité on parle : probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux ou du dommage).

Le but était de ne conserver que les outils qui étaient conformes aux prescriptions de la norme ISO 14121 et qui pouvaient être comparables entre eux. Il est bon qu'un outil d'estimation du risque, qu'il soit qualitatif ou quantitatif, aborde au moins deux paramètres représentant les éléments de risque. La gravité du dommage constitue un premier paramètre. L'autre paramètre est la probabilité d'occurrence de ce dommage.

Certains outils regroupent le paramètre probabilité d'occurrence du dommage regroupant divers paramètres secondaires : l'exposition, la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux et les possibilités de la personne à éviter ou à limiter le dommage.

Il a donc fallu éliminer :

- des méthodes à deux paramètres qui n'utilisent pas le paramètre «probabilité du dommage»
- des méthodes à plus de deux paramètres qui utilisent le paramètre « probabilité du dommage » ;
- des méthodes à plus de deux paramètres qui utilisent, en plus du paramètre de gravité, seulement des paramètres d'exposition (fréquence et/ou durée d'exposition) ;
- des méthodes qui utilisent à la fois le paramètre de « probabilité d'occurrence du dommage » et le paramètre de « fréquence d'exposition ».

Après l'élaboration de ce tableau, les membres de l'équipe de recherche (l'UQTR, l'IRSST et le HSL) se sont rencontrés afin d'approuver le choix des outils et leur sélection. Durant cette phase de travail, les membres de ces trois organismes ont fait un choix dans les outils sélectionnés (à savoir les outils en gras et italique) pour ne garder que les méthodes les plus pertinentes, à savoir 31 outils. Ainsi, suite à cette rencontre, le tableau définitif des outils qui ont été étudiés tout au long du projet, est mis en place. Les outils ne proviennent pas non plus de la même source : certains outils viennent de normes, d'autre de guide, de publications scientifiques ou encore d'utilisateurs.

Les outils choisis ont des architectures différentes : certains sont construits en matrices de risques, d'autres en graphes de risques, ou encore en méthodes hybrides. De plus, les outils n'ont pas le même nombre de paramètres : certains n'ont que 2 paramètres, d'autres 3, 4 ou même 5 paramètres. L'annexe 1 présente le tableau complet des 31 outils sélectionnés, accompagnés de leur référence. Il est très important de noter que tout au long de l'étude les outils ne seront jamais traduits et que la comparaison se fera également dans la langue d'origine, afin qu'il n'y ait pas d'interprétation.

3.3.2 Les échelles d'équivalence

La liste des documents ayant été établie, il a été nécessaire de mettre en place des échelles d'équivalence, pour permettre de comparer les outils ayant des paramètres qui sont définis différemment en utilisant une même échelle.

Les échelles d'équivalence sont expérimentées avec la mise en place de 5 outils : le #49, le #62, le #67, le #91 et le #48. Le choix de ces outils s'est appuyé sur le fait qu'ils respectent l'ISO 14121-2 (voir la section 2.3.1) et qu'ils ont tous une architecture différente. Tout d'abord, chaque équipe (UQTR, IRSST et HSL) a construit son échelle d'équivalence avec les 5 outils choisis. Puis sa réalisation faite, il y a eu une première réunion où les données ont été mises en commun et où un premier consensus a été trouvé. Le but est de trouver une entente pour pouvoir remplir du mieux possible les échelles d'équivalence. Le tableau 1 présente l'échelle d'équivalence pour le paramètre gravité du dommage, avec les 5 outils choisis après le consensus.

Cette entente trouvée, toutes les échelles d'équivalence, avec les 26 autres outils, sont complétées. Ensuite, une rencontre a été organisée avec les 3 membres du projet, pour terminer la mise en place des échelles d'équivalence et trouver un dernier consensus pour obtenir des échelles, les plus homogènes possible. Au final, cinq échelles d'équivalence sont construites. Elles correspondent aux paramètres utilisés dans les outils, à savoir :

- le paramètre de la « gravité du dommage » (S = Severity)
- le paramètre de la « probabilité d'occurrence du dommage » (Ph = Probability of harm)

- les paramètres de l'« exposition » : fréquence (Exf = Exposure of frequency) et durée (Exd = Exposure of duration)
- le paramètre de la « possibilité d'évitement » (A = Avoidance)
- le paramètre de la « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux » (Pe = Probability of hazardous event)

Tableau 1: Échelle d'équivalence pour la gravité du dommage avec les 5 outils choisis

		Niveaux									
Outil	Gravité du dommage	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8		
#49	Severity of injury	- S1 : Slight Injury (Normally reversible; or requires only first-aid as defined in OSHA 1904.12) <i>Blessure légère (Normalement réversible ou nécessitant seulement des premiers soins).</i>		- S2 : Serious Injury (Normally irreversible; or fatality; or requires more than first-aid as defined in OSHA 1904.12) <i>Blessure grave (Normalement irréversible, mortelle ou nécessitant plus que des premiers soins).</i>							
#62	Gravité du dommage	- V : Très faible (<i>Blessure sans arrêt de travail</i>)		- IV : Faible (<i>Blessure avec arrêt de travail</i>)		- III : Moyen (<i>Invalidité légère, note 2</i>)		- II : Grave (<i>Invalidité grave, note 1</i>)		- I : Très grave (<i>Décès</i>)	
#67	Severity	1- Scratches, bruises that are cured by first aid or similar.		2- More severe scratches, bruises, stabbing, which require medical attention from professionals.		3- Normally irreversible injury. It will be slightly difficult to continue work after healing		4- Irreversible injury in a way that it will be very difficult to continue work after healing, if possible at all.			
#91	Severity of harm	- G1 : Lésion légère (normalement réversible); exemples: écorchure, lacerations, bleus, blessure légère qui requière les premiers soins, etc.		- G2 : Lésion grave (normalement irréversible, y compris décès); exemples : membre brisé, arraché; grave blessure avec points de suture, TMS, décès, etc.							
#48	Qualitative measures of impact	Insignificant – No injuries	Minor – First aid treatment	Moderate – Medical treatment required		Major – Extensive injuries		Catastrophic – Death			

Pour remplir les échelles d'équivalence, les méthodes sont positionnées les unes par rapport aux autres, le but étant de comparer les outils et les méthodes, les uns, par rapport aux autres et non de les comparer à un référentiel. La raison est, entre autre, que le référentiel demeure incomplet aussi longtemps que tous les outils n'ont pas été analysés. Pour cela, un certain nombre de colonnes sont définies pour représenter, chacune, les différents niveaux d'expression d'un paramètre spécifique. Sachant que, comme les outils sont positionnés les uns par rapport aux autres sans créer ni définir de référentiel, il a été nécessaire de rajouter des niveaux, donc des colonnes, pour pouvoir positionner en toute cohérence les différents outils.

Ce positionnement fut difficile, car les méthodes n'ont pas la même définition pour les différents niveaux des cinq paramètres. C'est pourquoi, il a fallu définir 8 niveaux pour pouvoir placer les outils les uns par rapport aux autres et que les définitions des niveaux concordent entre les différents outils. De plus, certaines méthodes ont plus de niveaux pour définir un paramètre : par exemple, l'outil #62 présente cinq niveaux pour définir la gravité du dommage, alors que l'outil #19 n'en présente que trois. Afin de pouvoir placer ces outils, malgré leurs différentes définitions, il fut nécessaire de se positionner en tant qu'utilisateur ou évaluateur pour savoir comment il serait possible de se servir de l'outil. Cette approche a permis de confirmer certains choix et de repositionner différemment des niveaux les uns par rapport aux autres. En effet, certains outils peuvent avoir des définitions peu claires ou ambiguës pour définir leurs niveaux. Ce positionnement en tant qu'utilisateur ou évaluateur a donc permis de lever certains doutes et de placer les différents niveaux de façon plus logique et plus cohérente. Tout au long de l'élaboration des échelles d'équivalence, les chercheurs se sont consultés afin d'évoquer les différences et les difficultés rencontrées, ce qui a permis l'obtention d'un consensus final.

3.3.3 L'analyse des échelles d'équivalence

Une fois les échelles d'équivalence construites, l'analyse de ces dernières a permis d'établir les points communs, les différences et les conséquences au niveau des performances de l'estimation

des risques. Ce qui a rendu possible, par exemple, de montrer l'influence de la nature et du nombre de paramètres ou de leur seuil sur les résultats possibles.

L'élaboration des échelles d'équivalence représente donc une étape importante et incontournable dans le processus d'analyse des outils. La démarche utilisée repose sur l'analyse des différents paramètres à travers leur définition et les différents niveaux considérés.

Cette méthodologie a permis d'atteindre les objectifs identifiés au sein de ce projet. La constitution d'un échantillon d'outils soigneusement sélectionnés et la réalisation d'échelles d'équivalence, a permis de réaliser une exploitation systématique de leurs performances théoriques, pour comprendre le processus d'estimation du risque. Cette démarche a permis d'obtenir des résultats significatifs qui, à travers leur analyse, ont généré des connaissances. Celles-ci se sont avérées significatives pour trouver les critères de construction d'un bon outil.

4. ÉLABORATION ET ANALYSE DES ÉCHELLES D'ÉQUIVALENCE

4.1 Les paramètres principaux pour l'estimation du risque

4.1.1 La gravité du dommage

L'annexe 2 présente l'échelle d'équivalence pour le paramètre gravité du dommage. Les paragraphes ci-dessous présentent l'analyse des principaux points d'intérêt de cette échelle d'équivalence.

Il convient de noter au préalable que 27 des 31 outils utilisent la langue anglaise et que quatre utilisent la langue française. La traduction des termes étant susceptibles d'entraîner des interprétations nuancées concernant les niveaux de gravité du dommage, le choix a été de ne pas traduire et de travailler dans la langue d'origine.

4.1.1.1 Positionnement relatif des différents niveaux de chacun des outils

Tous les outils n'ont pas la même manière de définir leurs différents niveaux et n'ont pas le même nombre de niveaux. Afin de faire concorder les outils les uns par rapport aux autres, il a été nécessaire d'ajuster le nombre de niveaux. Il a, en outre, été nécessaire d'ajouter deux colonnes supplémentaires aux extrémités du tableau :

- S1 Égratignures sans premier soin : L'ajout de cette colonne a été rendu nécessaire pour accommoder plusieurs outils qui distinguent les blessures qui ne nécessitent pas de premiers soins (comme par exemple les simples égratignures) des autres blessures.
- S8 Décès multiples : L'ajout de cette colonne a été rendu nécessaire pour accommoder les outils #10, #17 et #66 qui utilisent la notion de décès multiples (mort de plusieurs personnes).

Ce positionnement des outils les uns par rapport aux autres a permis de « définir » huit niveaux « universels » de gravité du dommage. On obtient, une fois le tableau rempli, une correspondance de niveaux présentée dans le tableau 2.

Tableau 2: Définition des niveaux universels pour le paramètre gravité du dommage

Niveau universel	Description	Exemples d'outils concordants
S1	Égratignures, sans premiers soins	#6: environmental plant damage, no injury; #48: insignificant-no injuries, low financial loss, negligible environmental impact; #102: minor: means that the consequences are not very serious.
S2	Notion de premiers soins, sans arrêt de travail	#48: minor – first aid treatment, on site release immediately contained, medium financial loss; #58: premiers soins: premiers soins administrés sur place sans perte de temps.
S3	Arrêt de travail nécessitant plus que les premiers soins	#55: marginal: minor injury or occupational illness; #57: reversible, medical attention; #69: middle: serious harm with no permanent results; #89: major: maiming, significant injury, not permanent.
S4	Dommage irréversible : invalidité légère, retour au travail après rétablissement	# 62: moyen (invalidité légère – capacité de travail pour la profession acquise ou pour une profession équivalente, influe peu sur la qualité de vie); #67: normally irreversible injury. It will be slightly difficult to continue work after healing.
S5	Invalidité moyenne, retour au travail mais peut être pas au même poste	Pas d'outil qui réfère uniquement à ce niveau
S6	Incapacité permanente, ne peut plus travailler	Pas d'outil qui réfère uniquement à ce niveau
S7	Décès	#17: fatality.
S8	Décès multiples	#10: catastrophic: three or more fatalities of plant personnel, more than five injuries or fatality of member of public; #17: multiple fatalities; #66: catastrophic: fatalities.

4.1.1.2 Définition du paramètre utilisé par les différents outils

En observant le tableau de l'annexe 2, on constate que chaque outil ne donne pas la même définition au paramètre gravité du dommage: par exemple outil #1 « *hazard in term of the potential to cause harm* », outil #17 « *consequences or potential severity of injury* », outil #33 « *severity of injury or illness* », outil #35 « *consequences* », outil #67 « *severity* », outil #114 « *severity of harm* », etc. Chaque outil a donc sa propre définition du paramètre et chacune

n'exprime pas forcément la même chose. Ceci fait remarquer que chaque concepteur d'outil n'a pas la même vision ni la même perception concernant le paramètre gravité du dommage.

4.1.1.3 Définitions des niveaux utilisés par les différents outils

L'analyse de l'échelle d'équivalence permet de constater que les outils ne sont pas tous aussi précis dans la manière de définir les différents niveaux de ce paramètre. Certains outils utilisent uniquement des qualificatifs (comme par exemple « Minor » ou « Major ») pour définir les différents niveaux comme les outils #17 et #94, alors que d'autres donnent des définitions plus complètes pour chaque niveau, comme les outils #66, #17 et #24. L'utilisation de qualificatifs seuls laisse une très grande place à l'interprétation de l'estimateur : « minor » veut-il dire la même chose pour tous les estimateurs? Les personnes qui utilisent ces outils peuvent interpréter de manières différentes chaque niveau, étant donné que les niveaux ne sont pas définis.

Le problème est évidemment moindre lorsqu'une définition détaillée accompagne le qualificatif. Toutefois, certains outils utilisent des mots non appropriés par rapport à la définition mentionnée pour expliquer les différents niveaux. Par exemple, l'outil #41 utilise le terme «medium» pour parler de blessure grave, maladie professionnelle grave, ou dommage dans le système majeur ou environnemental. Ce terme définit mal les explications qui l'accompagnent. Dans cet exemple, le mot «high» correspondrait mieux à la définition.

Aussi, certains outils n'accordent pas le mot et la définition pour un niveau du paramètre. Par exemple l'outil #89: utilise le terme « major » pour définir : « *maiming, significant injury, not permanent* ». Pour cet outil, deux choses posent question, d'une part le terme « major », qui n'est pas en adéquation avec le terme « non permanent » et d'autre part l'utilisation des termes « mutilation et blessure importante » avec les mots « non permanentes ». L'outil devrait modifier le terme «major» et le remplacer par «medium» ou alors enlever le terme «NOT permanent».

L'adjectif «major» se retrouve dans tous les niveaux à partir de S3, cela montre bien la différence d'interprétation de cet adjectif, faite par les différents concepteurs d'outil, en rapport avec la gravité du dommage.

Enfin, certains outils ne différencient pas deux niveaux pour définir le paramètre gravité du dommage. Par exemple, l'outil #53 utilise le terme «blessure majeure» pour les 2 derniers niveaux, alors que leurs définitions sont différentes. De plus, avec les définitions données dans l'outil, on ne peut pas différencier les deux derniers niveaux. Il a donc fallu les placer ensemble dans les niveaux de S3 à S8. L'outil aurait pu dissocier ces deux niveaux en utilisant un autre terme comme: «blessure moyenne» et avoir deux définitions distinctes afin de pouvoir séparer ces deux niveaux. De plus, cet outil mentionne la perte financière avec une valeur limite à ne pas dépasser (>10k\$).

4.1.1.4 Répartition des niveaux utilisés par les différents outils

Le tableau 3 récapitule le nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre gravité du dommage. Le tableau montre que pour les 31 outils, les quatre associations suivantes sont utilisées par plusieurs outils pour définir le paramètre gravité du dommage:

- S1 + S2 : Égratignures, sans premiers soins et premiers soins, sans arrêt de travail
- S3 : Arrêt de travail nécessitant plus que les premiers soins
- S4 + S5 + S6 : Dommage irréversible : de invalidité légère à incapacité permanente
- S7 + S8 : Décès et décès multiples

Cinq des 31 outils utilisent d'ailleurs ces quatre associations pour définir leurs niveaux de gravité du dommage.

En observant ces associations les plus fréquentes, on en déduit que plusieurs des outils utilisent les mêmes points ou critères pour séparer les différents niveaux de gravité du dommage :

- Entre S2 et S3 : Premier soins sans arrêt de travail versus l'arrêt de travail
- Entre S3 et S4 : La blessure réversible versus irréversible

- Entre S6 et S7 : La blessure versus le décès

Tableau 3: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre gravité du dommage

Associations	Nombre d'outils
S1	9
S2	4
S3	18
S4	4
S7	1
S8	3
S1 + S2	19
S1 + S2 + S3	3
S2 + S3	5
S3 + S4	3
S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8	2
S4 + S5	4
S4 + S5 + S6	13
S4 + S5 + S6+ S7	1
S4 + S5 + S6+ S7 + S8	4
S5 + S6	4
S5 + S6 + S7 + S8	3
S6 + S7	1
S6 + S7 + S8	3
S7 + S8	16

Toutefois, ce ne sont pas tous les outils qui se basent sur ces points de séparation pour définir leurs niveaux. Par exemple, les outils #7 et #17 fusionnent les niveaux S3 et S4 sous le qualificatif «Major». L'observation des correspondances de niveaux dans l'échelle d'équivalence montre que cela se rapporte à des blessures réversibles (S3) et irréversibles (S4). Ainsi, avec ces outils, on ne peut faire la distinction entre une blessure importante (« Major ») qui laissera des séquelles permanentes, d'une autre dont le travailleur blessé se remettra complètement.

4.1.1.5 Notions de séparation des niveaux utilisés par les différents outils

L'analyse de la manière dont sont définis les différents niveaux, de même que des principaux points de séparations permet d'identifier certaines notions:

- La notion des premiers soins ;

La notion de premiers soins fait appel aux soins réalisés sur place par le médecin ou l'infirmière en poste, ou par un collègue formé pour prodiguer de tels soins. Le travailleur blessé n'a donc pas besoin de soins plus poussés, prodigués en milieu hospitalier.

- La notion de perte de temps ;

La notion de perte de temps peut être interprétée de différentes façons. Il est généralement admis qu'il y a perte de temps lorsque le travailleur ne peut retourner au travail le jour suivant l'accident. Toutefois, il peut être difficile d'interpréter cette notion de façon objective et rationnelle puisqu'elle dépend de la culture d'entreprise qui induira différentes procédures, par rapport au travailleur blessé. Par exemple, un travailleur blessé pourrait être affecté à un autre poste pendant sa convalescence, ce qui, selon les pratiques en vigueur dans plusieurs entreprises, ne serait pas comptabilisé comme une perte de temps.

- La notion de l'impact sur l'intégrité physique : blessure légère ou grave, fracture, amputation, cécité, maladie professionnelle, décès ;

La notion d'impact sur l'intégrité physique est liée aux blessures graves qui vont affecter le travailleur soit pour un certain temps (fracture), soit pour la vie (amputation, cécité).

- La notion de réversibilité de la blessure : réversible / irréversible ;

Les notions de réversibilité et irréversibilité de la blessure sont liées à la gravité de la blessure : une fracture sera normalement une blessure réversible, car le travailleur sera immobilisé, puis il récupérera de sa blessure. Alors qu'une blessure irréversible ne permettra pas au travailleur de retrouver toutes ses capacités. L'amputation d'un bras, par exemple, pourra empêcher le travailleur de retrouver son poste de travail.

- La notion d'incapacité : partielle ou totale, et/ou temporaire ou permanente ;

Les notions d'incapacité rejoignent le fait qu'un travailleur, victime d'un accident, peut être limité dans ses activités personnelles et professionnelles, de façon partielle ou totale, temporaire ou permanente.

- La notion du nombre de victime : employé(s) de l'entreprise, et/ou personne(s) externe(s) ;

La notion concernant le nombre de victimes est reliée aux nombres de personnes touchées lors de l'accident. Est-ce que seulement les employés de l'entreprise sont impliqués ou est-ce que les personnes se trouvant dans le voisinage ont été touchées ? Le nombre de victimes sera lié à l'importance de l'accident mais aussi à l'emplacement de l'entreprise. Est-elle proche d'un milieu résidentiel ou isolée ?

- La notion des dégâts matériels: à l'entreprise, au domaine public, et/ou à l'environnement ;

La notion de dégâts matériels sera liée à l'importance de l'accident. Plus l'accident sera important plus il y aura des dégâts matériels : aussi bien au niveau de l'immobilier (bâtiments), que concernant le domaine public (canalisation, poteau électrique), que lié à l'environnement (pollution).

- La notion d'arrêt de travail : en jours, en semaines, en mois, et/ou définitif ;

La notion d'arrêt de travail sera liée à l'importance de la blessure. Plus la blessure sera grave plus l'arrêt de travail sera long.

- La notion de pertes financières : arrêt de production, financement de la réhabilitation.

La notion de perte financière sera liée à l'importance de l'accident (destruction de plusieurs bâtiments) ou bien à la zone de l'entreprise où l'accident a eu lieu. Si l'accident a eu lieu sur la chaîne de production, il y aura donc arrêt de la production. Les pertes financières vont aussi être liées aux nombres d'employés concernés dans l'accident. Plus il y aura de travailleurs touchés et plus les blessures seront graves, plus l'entreprise devra payer des financements de réhabilitation.

En regard des notions utilisées, certains outils ne définissent pas de la même manière leurs différents niveaux. Par exemple, l'outil #1 utilise la notion de perte de temps pour les deux premiers niveaux : « Slight – less than 3 days lost time - Serious – over 3 days lost time. Puis pour le dernier niveau défini, on lit : « *major – death or serious injury*», ce qui correspond à la notion d'impact sur l'intégrité physique. L'outil #58 utilise aussi deux façons différentes pour définir les différents niveaux du paramètre gravité du dommage. Dans un premier temps, il utilise la notion d'impact sur l'intégrité physique pour les niveaux de S1 à S2 et de S5 à S8. Par contre pour les niveaux S3 et S4, il utilise la notion de perte de temps. Il vaut mieux définir un paramètre et ses différents niveaux avec la même base de définition. Il apparaît donc que des combinaisons de notions sont utilisées dans certains outils : certains vont commencer avec une notion et ensuite poursuivre avec une autre notion. Dans d'autres cas, les différentes notions sont utilisées conjointement pour définir certains niveaux. On retrouve tous ces résultats dans le tableau 4.

Tableau 4: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre gravité du dommage

Notions utilisées	Nombre d'outils	Outils
Premiers soins	1	#24
Perte de temps	0	Pas d'outil
Impact sur l'intégrité physique	8	#3, #33, #34, #55, #89, #91, #102, #114
Réversibilité de la blessure	4	#19, #49, #57, #69
Incapacité	4	#6, #24, #44, #45
Nombre de victimes	2	#10, #85
Dégâts matériels	1	#41
Arrêt de travail	0	Pas d'outil
Pertes financières	4	#35, #44, #48, #53
Seulement un qualificatif	3	#7, #17, #94
Utilisations combinées		
Gravité de la blessure et perte de temps	2	#1, #58
Gravité de la blessure et dégâts environnementaux	3	#6, #41, #66
Gravité de la blessure et nombre de victimes	2	#10, #85
Gravité de la blessure et pertes financières	1	#53
Gravité de la blessure et impact sur la mission	2	#45, #46
Gravité de la blessure et perte de temps et pertes financières	1	#44
Gravité de la blessure et pertes financières et dégâts environnementaux	2	#35, #48
Premiers soins et réversibilité/irréversibilité	1	#67
Arrêt de travail et incapacité	1	#62

Deux outils (#35 et #48) utilisent les notions de perte financière et de dommages environnementaux dans les différents niveaux qui définissent le paramètre gravité du dommage. Le fait de mentionner la perte financière, ainsi que les impacts environnementaux fait ressortir, que pour cette entreprise, ces deux notions vont être touchées : c'est-à-dire, par exemple, qu'en cas d'accident au sein d'une entreprise de pétrochimie, celle-ci va perdre de l'argent ou des financements liés à la fois à l'accident et à des déversements de pétrole dans l'environnement. Pour certaines entreprises, le cahier des charges en santé sécurité au travail incite à préciser ces notions dans l'estimation du risque.

Certains outils (#24, #62 et #67) mentionnent, dans la définition de leurs différents niveaux, si le travailleur pourra faire un retour au même poste de travail ou à un poste différent ou s'il sera dans l'incapacité de reprendre le travail. Cette précision peut donner une idée sur la gravité de la blessure.

Seuls les outils #10 et #114 tiennent compte des impacts sur les personnes ne faisant pas partie du site. Pour le niveau concernant le décès, ces outils parlent des pertes humaines du site et hors-site. Pour ces outils, il est important de parler des pertes des personnes hors-site, car il est possible que l'entreprise soit placée proche de résidences.

L'outil #49 se réfère à la norme internationale OSHA 1904.12 dans les différents niveaux qui définissent ce paramètre. Les entreprises qui utilisent cet outil sont sans doute certifiées OSHA 1904.12 et doivent donc faire un lien à la norme dans leur estimation du risque.

Les outils #6, #41, #45 et #66 utilisent la notion de dommages environnementaux dans les différents niveaux qui définissent le paramètre gravité du dommage. La notion de dommages environnementaux utilisée par ces outils peut être liée aux activités de certaines entreprises, comme les entreprises de pétrochimie ou les entreprises pharmaceutiques.

4.1.2 La probabilité d'occurrence du dommage

L'annexe 3 présente le tableau de l'échelle d'équivalence de la probabilité d'occurrence du dommage. Le paramètre probabilité d'occurrence du dommage est un paramètre très important car il est utilisé par 23 des 31 outils. La lecture de cette échelle d'équivalence de la probabilité d'occurrence du dommage, montre que le placement des outils, les uns par rapport aux autres, a permis de «définir» des positionnements dans le tableau. Une fois le tableau rempli, une correspondance des niveaux est obtenue grâce aux notions suivantes :

- Ph1 correspondrait à la notion « *improbable, unlikely* »
- Ph4 correspondrait à la notion « *possible, could occur* »
- Ph7 correspondrait à la notion « *very likely, frequent* »

Ces trois niveaux sont les premiers à se dégager au cours de la construction de l'échelle d'équivalence, c'est pourquoi ils sont présentés dans un premier lieu.

4.1.2.1 Positionnement relatif des différents niveaux de chacun des outils

Il a été assez difficile de séparer, par exemple, deux notions, car dans certains outils, la définition n'était pas claire ou encore le terme probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux était utilisé pour, en fait, définir la probabilité d'occurrence du dommage, comme dans l'outil #66. Pour cette échelle d'équivalence, des outils définissent le paramètre par une graduation de « rare » à « certain » avec différents niveaux. Les outils #48, #6, #7, #1, #17, #24, #33, #34, #35, #41, #44 utilisent les termes de « rare » à « certain » pour définir le paramètre. Les outils #41 et #66 ont 6 niveaux pour définir ce paramètre, les outils #48, #6, #7, #35, #44, #45, #58, #85, et #94 en ont eux 5 tandis que les outils #24, #46, #89 et #114 ont 4 niveaux et les outils #1, #19, #33, #34, #53, #69, #102 en ont 3.

Certains donnent des définitions complètes comme les outils #58 ou #66 alors que d'autres ne donnent que des mots pour les différents niveaux comme les outils #53 ou #94.

Les outils #19, #53 et #69 donnent 3 niveaux : les outils #19 et #53 n'ont que des mots pour définir les 3 niveaux alors que l'outil #69 donne une petite définition. Mais un outil, comme le #53 ou même le #57, présente juste des mots pour définir leurs niveaux, ce qui est plus difficile à interpréter et donc ne facilite pas le positionnement des outils les uns par rapport aux autres.

La difficulté a aussi été de placer et de comparer des outils qui utilisent d'une part :

- les probabilités pour définir la notion de probabilité d'occurrence du dommage, comme les outils #10 et #17,
- et d'autre part ceux qui utilisent la notion de « cycle de vie » pour définir ce même paramètre, comme les outils #3 et #41.

Le positionnement des outils, les uns par rapport aux autres, a permis de « définir » sept niveaux « universels » de probabilité d'occurrence du dommage.

Le tableau rempli montre une correspondance des niveaux grâce aux notions présentées dans le tableau 5. Malgré les difficultés rencontrées, cette correspondance est appuyée par les exemples suivants, trouvés dans les échelles d'équivalence.

Tableau 5: Définition des différents niveaux pour la probabilité d'occurrence du dommage avec des exemples d'outils

Niveaux universels	Description	Exemples d'outils concordants
Ph1	presque impossible de se produire	Outils: #6: improbable – so unlikely that probability is close to zero; #24: remote – so unlikely as to be near zero; #41: highly improbable – probability cannot be distinguished from zero.
Ph2	peu probable mais possible	Outils: #10: once every 1000 years; #41: improbable – very unlikely to occur in the life cycle.
Ph3	pourrait se produire mais inattendu	Outils: #41: remote – unlikely but may possibly occur in the life cycle; #48: unlikely – could occur but not expected.
Ph4	pourrait se produire, attendu	Outils: #1: medium – possible; #6: possible – could occur sometime; #24: likely – may occur.
Ph5	presque certain de se produire	Outils: #35: likely – will probably occur in most circumstances; #45: occasional – occurs sporadically.
Ph6	aura lieu au moins une fois	Outils: #3: likely- typically experienced once every five years by an individual; #41: probable – likely to occur several times in the life cycle; #66: occasional – likely to occur several times.
Ph7	va se produire fréquemment	Outils: #6: likely – frequent occurs repeatedly; #45: frequent – occurs very often, continuously experienced; #89: very likely: could happen frequently.

4.1.2.2 Définition du paramètre probabilité d'occurrence du dommage utilisé par les différents outils

Ce paramètre est très bien défini par certains outils, comme l'outil #85 «*probability of harm*», ou les outils #24 et #114 «*probability of occurrence of harm*», ou encore l'outil #6 «*probability or likelihood of harm occurring*»...

L'observation de l'échelle d'équivalence, en annexe 3, rend compte aussi que d'autres outils ne donnent pas la même appellation au paramètre : par exemples outil #94 «*frequency of occurrence*», outils #35 et #7 «*likelihood*», outil #34 «*likelihood level*», outil #48 «*qualitative measures of likelihood*» ... Le constat est que chaque outil a une définition du paramètre peu précise. Il est difficile de savoir, à priori, de quelle probabilité il est question, est-ce la probabilité d'occurrence du dommage ou bien celle de l'évènement dangereux?

C'est pourquoi la traduction des termes anglophones des tableaux peut être susceptible d'entraîner des interprétations nuancées concernant les différents niveaux du paramètre probabilité d'occurrence du dommage. Pour pouvoir garder toute la subtilité des définitions, le travail s'est effectué, encore une fois, dans la langue d'origine.

4.1.2.3 Définition des niveaux utilisés par les différents outils

L'étude de la répartition des différents niveaux, montre qu'il n'y a pas vraiment de problème de construction. Par contre certains outils ne font pas la différence entre une probabilité d'occurrence du dommage presque impossible de se produire et qui pourrait se produire (attendu). D'autres ne font pas la différence entre une probabilité d'occurrence du dommage presque impossible de se produire et qui pourrait se produire mais inattendue. Mais encore certains outils ne différencient pas une probabilité d'occurrence du dommage presque certain de se produire et une qui se produira fréquemment. Ou encore des outils ne séparent pas une probabilité d'occurrence du dommage qui pourrait se produire (attendu), d'une qui aura lieu au moins une fois. Et enfin certains outils ne font pas la différence entre une probabilité

d'occurrence du dommage qui pourrait se produire (attendu) et une qui sera presque certaine de se produire.

Pour évaluer la probabilité d'occurrence du dommage, il est nécessaire de faire la différence entre la survenue presque impossible de l'accident (risque est connu, prévenu et «maîtrisé»), de l'accident qui pourrait se produire, mais auquel on ne s'attend pas, et de l'accident qui aura lieu au moins une fois. Mais pour faire la différence entre quelque chose qui pourrait se produire et quelque chose qui se produira au moins une fois, il serait judicieux d'utiliser des chiffres plus parlants que des nuances linguistiques qui ne renseignent pas de façon rationnelle. Seul un outil, parmi tous, raisonne sur des chiffres, 2 autres utilisent un référentiel d'années de travail ou de carrière.

Le tableau 6 synthétise le nombre d'outils qui utilisent les différentes associations de niveaux trouvées grâce aux échelles d'équivalence pour le paramètre probabilité d'occurrence du dommage.

Tableau 6: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre probabilité d'occurrence du dommage

Associations	Nombre d'outils
Ph1	10
Ph2	3
Ph3	4
Ph4	11
Ph5	6
Ph6	6
Ph7	11
Ph1 + Ph2	7
Ph1 + Ph2 + Ph3	5
Ph1 + Ph2 + Ph3 + Ph4	1
Ph2 + Ph3	5
Ph3 + Ph4	4
Ph4 + Ph5	4
Ph4 + Ph5 + Ph6	1
Ph5 + Ph6	4
Ph5 + Ph6 + Ph7	6
Ph6 + Ph7	4

Pour le paramètre probabilité d'occurrence du dommage, il n'y a pas de niveau qui se dégage comme pour la gravité du dommage. Seulement 3 niveaux sont plus utilisés par les outils : Ph1, Ph4 et Ph7.

4.1.2.4 Notions de séparations des niveaux utilisés par les différents outils

Il ressort que concernant la probabilité d'occurrence du dommage, diverses notions apparaissent avec divers niveaux:

- La notion de probabilité : en utilisant les probabilités pour définir le paramètre probabilité d'occurrence du dommage, il sera difficile de comparer les résultats avec un autre utilisateur, car chaque individu peut interpréter différemment les probabilités. Pour un utilisateur, une chance sur cinq sera une probabilité importante, pour un autre, elle pourra être faible.

- La notion des mots sans définition : en utilisant seulement des mots pour définir le paramètre, l'utilisateur peut manquer de détails et donc hésiter ou ne pas positionner le bon niveau au bon endroit. Par exemple, quelqu'un peut interpréter un mot plus faible qu'une autre personne : « moyenne » pour une blessure peut être interprétée comme une coupure par un utilisateur, alors qu'un autre pourra l'utiliser pour une fracture.
- La notion du cycle de vie : en utilisant la notion de cycle de vie, l'utilisateur n'a pas de détail sur la durée du cycle de vie : est-ce la vie entière ou bien juste la carrière professionnelle ou encore est-ce la vie utile de l'équipement ou de la machine? En effet, le cycle de vie peut correspondre à la vie entière d'un employé ou bien juste à sa carrière professionnelle. Dans ce cas, le nombre d'années est différente et donc le nombre d'accidents possible n'est pas le même, sachant qu'il sera plus court si seulement le cycle de vie professionnel est considéré. En ce qui concerne la vie de l'équipement ou de la machine, il est intéressant de préciser depuis combien de temps l'équipement a été installé et la durée de vie que recommande le constructeur.

Des mélanges de notions sont retrouvés dans certains outils : certains vont commencer avec une notion et ensuite poursuivre avec une autre notion. Tous ces résultats s'affichent dans le tableau 7.

Tableau 7: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre probabilité d'occurrence du dommage

Notions	Nombre d'outils	Outils
Définitions	12	#6, #24, #34, #35, #45, #46, #48, #58, #66, #89, #102, #114
Probabilités	1	#10
Mots sans définition	4	#1, #7, #33, #94
Définition et probabilités	3	#3, #44, #85
Cycle de vie	2	#41, #44

4.1.2.5 Exemples d'erreur de construction

- outils qui utilisent seulement des qualificatifs pour définir le paramètre probabilité d'occurrence du dommage :

Outils #1, #7, #33 et #94: utilisent seulement des qualificatifs pour définir le paramètre probabilité d'occurrence du dommage. L'utilisation de simples mots indique un manque de précision au niveau des différents niveaux définis par la construction. L'utilisateur ou l'évaluateur aura donc une difficulté afin de définir les niveaux associés à ce paramètre car chacun a sa propre sensibilité et subjectivité.

- outils qui combinent deux niveaux pour définir le paramètre probabilité d'occurrence du dommage :

Outils #58 et #66 : ont un problème de construction par rapport aux définitions données pour les 2 derniers niveaux, inséparables (probable et fréquent). Il y a donc un manque dans la définition des niveaux de ce paramètre pour ces outils.

- outil qui utilise des probabilités pour définir le paramètre probabilité d'occurrence du dommage :

Outil #10 : utilise des probabilités pour définir la probabilité d'occurrence du dommage. Certains autres outils (#44 et #85) les utilisent, mais avec une explication aidant à comprendre les probabilités. Pour cet outil, il n'y a pas d'explication complémentaire aux probabilités données. De plus, cet outil a un problème de construction car les deux premières définitions correspondent au même niveau, à savoir le niveau Ph1, or leur séparation est impossible (1×10^{-5} et 1×10^{-4}).

4.2 Les paramètres secondaires pour la détermination de la probabilité d'occurrence du dommage

4.2.1 L'exposition

L'évaluation de l'exposition a pour objet d'établir l'aspect temporel du danger auquel l'être humain et l'environnement sont ou peuvent être exposés. Cette évaluation intègre la fréquence

d'exposition, souvent relative à une unité de temps, c'est-à-dire le nombre de fois auquel la personne est soumise au danger, ainsi que la durée de cette exposition.

Il est important de différencier la fréquence d'exposition, qui correspond au nombre de fois où l'employé est exposé au risque, alors que la durée d'exposition correspond au temps pendant lequel le travailleur est exposé au risque.

4.2.1.1 Fréquence d'exposition

L'annexe 4 présente l'échelle d'équivalence du paramètre fréquence d'exposition.

Plusieurs études ont été possibles, lors du remplissage du tableau.

4.2.1.1.1 Positionnement relatif des différents niveaux de chacun des outils

Pour construire l'échelle d'équivalence de la fréquence d'exposition, comme pour les autres tableaux, il a été nécessaire d'ajouter des colonnes pour pouvoir positionner correctement les outils les uns par rapport aux autres et ainsi être cohérent avec les définitions des différents niveaux identifiables dans les différents outils. Ainsi, les outils #67, #69 et #114 ont nécessité l'ajout d'un niveau Exf8 pour la notion de continuité au niveau de la fréquence d'exposition. En effet, cette notion ne se retrouve pas dans les autres outils.

La réalisation de cette échelle d'équivalence, a permis de définir huit niveaux universels pour la fréquence d'exposition, présentés au tableau 8.

Tableau 8: Définition des différents niveaux pour la fréquence d'exposition avec des exemples d'outils

Niveaux universels	Description	Exemples d'outils concordants
Exf1	notion de fréquence inférieure à une fois par an (< 1 fois/an)	Outils: #55, #57, #67, #114
Exf2	notion de fréquence par an, fréquence annuelle	Outils #55 et #57
Exf3	notion de fréquence par mois, fréquence mensuelle	Outil #57
Exf4	notion de fréquence par semaine, fréquence hebdomadaire	Outils #57 et #67
Exf5	notion de fréquence par jour, 1 à 2 fois par jour	pas d'outil
Exf6	notion entre 2 fois par jour à 1 fois par 2 heures	pas d'outil
Exf7	notion entre 1 fois par 2 heures et 1 fois par heure	pas d'outil
Exf8	notion de plusieurs fois par heure (>1 fois / heure)	Outils #67 et #114

4.2.1.1.2 Définition du paramètre utilisé par les différents outils

Les différents outils définissent ce paramètre de façons diverses. Certains outils vont le nommer « frequency of exposure » comme les outils #55 et 114. D'autres vont le présenter « exposure » #49 ou « exposure to harm » #69, avec cette définition, la fréquence n'est pas citée et n'est donc pas qualifiée. L'employé peut être exposé une heure comme pendant tout son quart de travail. Il manque donc une précision sur la fréquence ou le nombre de fois que le travailleur est exposé au risque. L'outil #53 lui propose une définition liée au potentiel de l'activité, ce qui n'a aucun rapport avec la fréquence d'exposition au risque. Cet outil ne donne aucune indication sur le nombre de fois où le travailleur est exposé au risque. Certains outils ne donnent pas assez de précision pour définir le paramètre fréquence d'exposition, ce qui peut conduire par la suite à mal définir les différents niveaux.

4.2.1.1.3 Définition des niveaux utilisés par les différents outils

En ce qui concerne la fréquence, les différents niveaux ont été difficiles à mettre en place car seulement 4 outils utilisent les notions de date : année, mois, semaine, jour. Les autres outils utilisent soit les notions de « rarement » et « souvent » (#19, #114), ou encore exposition « non fréquente » et « fréquente » (#49).

Malgré les difficultés rencontrées, il existe une correspondance avec les exemples suivants trouvés dans les échelles d'équivalence. Comme pour la gravité du dommage, le même problème de traduction et surtout d'interprétation des différents mots et expressions utilisés apparaît. La manière dont sont répartis les différents niveaux, montre que certains outils ne font pas la différence entre la notion de moins d'une fois par an et la fréquence hebdomadaire, entre la fréquence annuelle-mensuelle et la fréquence hebdomadaire, entre la fréquence hebdomadaire et la fréquence continue. L'étude des outils, dans les associations de niveaux trouvées, grâce aux échelles d'équivalence, fait apparaître de réelles difficultés à définir la fréquence d'exposition. Outre les définitions vagues, qui n'ont pas vraiment de signification, les définitions s'appuient sur des unités de temps : heure, jour, semaine, quelquefois complétées par une durée sur les changements d'équipe et sur le temps de travail. Il faudrait rationaliser les critères précis à retenir, pour définir la fréquence, de façon à avoir un langage commun et une évaluation plus précise de cette fréquence.

Pour la fréquence d'exposition, il est plus difficile de montrer que ces exemples identifient des problèmes de construction des différents outils, car tous les outils n'utilisent pas les notions de temps : annuel, mensuel, hebdomadaire. Il existe donc des « trous » dans l'échelle du temps et il est important de limiter ces « trous » pour être le plus précis dans l'évaluation de la fréquence d'exposition à un évènement dangereux ou à un dommage. Par exemple, l'outil #49 définit deux niveaux pour la fréquence d'exposition. Le premier niveau est défini par «infrequent exposure (typically exposure to the hazard less than once per day) » et le deuxième par «frequent exposure (typically exposure to the hazard more than once per hour) ». Dans cet exemple, les définitions passent de moins d'une fois par jour à plusieurs fois par heure. Il y a donc un trou dans l'échelle du temps, car l'outil ne précise pas une fréquence d'exposition pour le quart de travail.

L'outil #91 considère l'exposition par quart de travail. Le positionnement dans le tableau est donc F2 sur Exf7 et Exf8 pour la notion de jour et d'heures. Les différents niveaux sont définis en fonction du calcul du nombre de visites, rapporté en année, mois, semaine et jour. Il est difficile de positionner et de comparer des outils qui parlent d'exposition d'un travailleur (la majorité), à celles qui introduisent la notion d'équipe (outil #91).

4.2.1.1.4 Répartitions des niveaux utilisés par les différents outils

Le tableau 9 synthétise le nombre d'outil qui utilise les différentes associations de niveaux pour le paramètre fréquence d'exposition.

Tableau 9: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre fréquence d'exposition

Associations	Nombre d'outils
Exf1	4
Exf2	2
Exf3	1
Exf4	2
Exf7	1
Exf8	1
Exf1 + Exf2 + Exf3 + Exf4	3
Exf1 + Exf2 + Exf3 + Exf4 + Exf5	2
Exf2 + Exf3	1
Exf3 + Exf4	1
Exf2 + Exf3 + Exf4	1
Exf5 + Exf6	1
Exf5 + Exf6 + Exf7	2
Exf5 + Exf6 + Exf7 + Exf8	4
Exf6 + Exf7 + Exf8	2
Exf7 + Exf8	1

De même que pour la probabilité d'occurrence du dommage, il n'y a pas vraiment de niveaux ou d'associations qui se dégagent.

4.2.1.1.5 Notions de séparations des niveaux utilisés par les différents outils

En parlant de fréquence d'exposition, diverses notions apparaissent avec divers niveaux:

- Les notions année, mois, semaines : si un référentiel initial n'a pas été donné, on ne sait pas combien de fois ou bien à quelle fréquence le travailleur a été exposé au risque.
- La notion de quart de travail : pour cette notion, il serait intéressant de savoir combien de fois, le travailleur est exposé au risque pendant son quart de travail.
- La notion de continuité ou pas, lors du quart de travail : la notion de continuité pour la fréquence d'exposition est subjective, car chaque personne peut l'interpréter à sa manière si un référentiel de départ n'a pas été défini. Est-ce que la fréquence est considérée continue à partir d'une heure ou de deux heures pendant le quart de travail ?

Les différentes notions utilisées pour définir le paramètre fréquence d'exposition se retrouvent dans le tableau 10.

Tableau 10: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre fréquence d'exposition

Notions	Nombre d'outils	Outils
Notion d'année, de mois, de semaines	4	#53, #55, #57, #67,
Notion sur le quart de travail	1	#91
Notion sur la continuité	4	#19, #49, #69, #114

4.2.1.1.6 Exemples d'erreur de construction

- outil qui ne précise pas l'échelle du temps pour définir le paramètre fréquence d'exposition**

Outil #19 : utilise les notions « seldom to quite often » et « frequent to continuous » mais ne précise pas d'échelle du temps. Le nombre de fois par année ou par mois ou encore par semaine, jour ou par heure n'est pas mentionné, ce qui ne donne pas de notion de temps.

- outil qui utilise des notions peu précises pour définir le paramètre fréquence d'exposition

Outil #53 : utilise la notion de « hebdomadaire » mais ne précise pas le nombre de fois, ce qui produit un trou au niveau de l'échelle du temps, car il peut y avoir une exposition au phénomène dangereux une fois, ou deux ou encore trois. C'est donc à l'utilisateur de le définir selon sa sensibilité et comme chaque personne peut l'interpréter de manière différente, cet outil est imprécis.

- outil qui utilise plusieurs manières pour définir le paramètre fréquence d'exposition

Outil #55 : utilise deux manières pour définir le paramètre fréquence d'exposition, à savoir les deux premiers niveaux sont définis de manière précise, c'est-à-dire que l'on a une définition sans trou dans le temps. Alors que les deux derniers niveaux ne le sont pas. L'outil utilise les notions de « mensuel » et « quotidien » sans préciser un intervalle de temps ou un nombre de fois, dans cette plage temporelle définie.

- outil qui utilise seulement des mots pour définir le paramètre fréquence d'exposition

Outil #57 : utilise seulement des mots pour définir le paramètre fréquence d'exposition. Le nombre de fois n'étant pas défini, cela peut entraîner une imprécision dans l'interprétation personnelle que peut en faire un utilisateur ou un évaluateur.

Il existe aussi, dans ce paramètre, des problèmes de construction, c'est pourquoi il est très important de bien définir les différents niveaux avec le plus de précisions possibles afin de ne pas avoir de trous dans l'échelle du temps et donc aucune équivoque pour l'utilisateur ou l'évaluateur.

4.2.1.2 Durée d'exposition

L'annexe 5 présente l'échelle d'équivalence du paramètre durée d'exposition. En ce qui concerne ce tableau, il existe une cohérence dans les données des outils, ce qui donne plus de facilité à les positionner les uns par rapport aux autres, par exemple, la notion de continuité est retrouvée dans tous les outils.

4.2.1.2.1 Positionnement relatif des différents niveaux de chacun des outils

Le positionnement des outils, les uns par rapport aux autres, a permis de « définir » des positionnements dans le tableau. Une fois le tableau rempli, une correspondance des niveaux apparaît, grâce aux niveaux présentés dans le tableau 11.

Tableau 11: Définition des différents niveaux pour la durée d'exposition avec des exemples d'outils

Niveaux universels	Description	Exemples d'outils concordants
Exd1	< 1/20 du temps de travail	Outils: #62: 2 heures/semaine, #69: low: seldom or very short exposure to harm
Exd2	1/10 du temps de travail (45 min par quart de travail)	Outil : #62 : 4 heures/semaines (1/2 jour/semaine).
Exd3	1/5 du temps de travail (90 min par quart de travail)	Outil : #62 : 8 heures/semaine (1 jour/semaine).
Exd4	la moitié du temps de travail (1/2) (4 heures par quart de travail)	Outil #62 : 20 heures/semaine (mi-temps).
Exd5	continu au temps de travail	Outils #19 : frequent to continuous ; #62 : 40 heures/semaine.

On peut appuyer cette correspondance avec les associations du tableau 9 trouvés dans les échelles d'équivalence. Comme pour la fréquence d'exposition, il existe, pour la durée d'exposition, le même problème de traduction et surtout d'interprétation des différents mots et expressions utilisés.

4.2.1.2.2 Définition du paramètre utilisé par les différents outils

Pour le paramètre « durée d'exposition », l'appellation donnée au niveau des constructions définit bien le paramètre, à savoir par exemples : outil #69 « *duration to harm* », outil #91 « *duration of exposure to hazard* », outil #19 « *duration of exposure of persons to the hazard* ». Ainsi les définitions données pour ce paramètre sont claires et on sait avec précision de quoi il s'agit.

4.2.1.2.3 Définition des niveaux utilisés par les différents outils

De même que pour la fréquence d'exposition, la durée d'exposition est très difficile à définir. Les adjectifs comme « souvent », « rarement », « de courte durée » n'apportent pas de précision. Par exemple l'outil #69 ne précise pas le nombre de changement d'équipe, ce qui anéantit la tentative de précision. Il faudrait aussi, pour la durée d'exposition, rationaliser des critères précis à retenir.

Certains outils, qui évaluent la durée d'exposition par rapport au quart de temps de travail, c'est-à-dire 8 heures de travail, ne font pas la différence entre une durée d'exposition inférieure à 45 minutes, comprise entre 45 minutes et 4 heures ou continue.

4.2.1.2.4 Répartition des niveaux utilisés par les différents outils

Le tableau 12 synthétise le nombre d'outil qui utilisent les différentes associations de niveaux, trouvées grâce aux échelles d'équivalence pour le paramètre durée d'exposition.

Tableau 12: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre durée d'exposition

Associations	Nombre d'outils
Exd1	4
Exd2	1
Exd3	1
Exd4	1
Exd5	3
Exd1 + Exd2 + Exd3 + Exd4	1
Exd2 + Exd3 + Exd4	1
Exd2 + Exd3 + Exd4 + Exd5	2

De même que pour la fréquence d'exposition, il n'y a pas vraiment de niveaux ou d'associations qui se dégagent.

4.2.1.2.5 Notions de séparations des niveaux utilisés par les différents outils

Il ressort que lorsqu'on parle de durée d'exposition, diverses notions apparaissent avec divers niveaux:

- La notion de temps lors du quart de travail : c'est-à-dire que la durée d'exposition est définie sur 8 heures de travail.
- La notion de durée d'exposition (courte ou continue) : la définition d'une durée d'exposition courte ou continue est subjective, car chaque personne n'aura pas la même notion de courte ou continue. Une personne dira que 2 heures est une durée courte, alors qu'une autre dira que c'est une durée continue. Le fait de ne pas donner plus de détails sur cette durée d'exposition entraîne beaucoup de questions comme : est ce que la base de la durée est de 8 heures de travail et cette base est-elle considérée comme une durée continue, ou bien est ce que la durée continue est définie par une heure de travail et est-elle considérée comme continue ?
- La notion de pourcentage de temps pour évaluer le temps d'exposition : une fois de plus le pourcentage peut être subjectif lorsqu'un référentiel initial n'a pas été donné pour distinguer une durée continue d'une durée courte.

Des mélanges de notions sont amalgamés dans certains outils : certains vont commencer avec une notion et ensuite poursuivre avec une autre notion. Le tableau 13 présente les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre durée d'exposition.

Tableau 13: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre durée d'exposition

Notions	Nombre d'outils	Outils
Temps lors du quart de travail	2	#62, #91
Notion d'exposition (courte ou continue)	2	#19, #69
Pourcentage pour évaluer le temps d'exposition	1	#17

4.2.1.2.6 Étude d'une construction rationnelle sous-tendue par une interprétation subjective

- outils utilisant des notions comme courte ou continue pour définir la durée d'exposition

Outil #19 : cet outil utilise les notions de «*seldom to quite often*» et «*frequent to continuous*» pour définir les deux niveaux de ce paramètre. Avec l'utilisation de ces termes, l'outil manque de précision pour savoir combien de temps le travailleur est exposé au phénomène dangereux. Peu d'outil utilise la durée des expositions, Comment prendre en considération un outil qui utilise des pourcentages sans avoir d'échelle de référence? De définitions des limites? De nouveau, il est très important de définir les différents niveaux avec le plus de précisions possibles afin de ne pas avoir de définitions floues, comme pour l'outil #19, qui lui, définit la durée d'exposition avec «*seldom to quite often*» et «*frequent to continuous*». Ceci permet de voir que pour ces deux outils, il y a des trous dans l'échelle de la durée d'exposition car aucune précision n'est donnée, ni par un exemple, ni avec une indication de temps.

Outil #69 : utilise les notions «*very short exposure*» et «*short to longer exposure*» pour définir les deux niveaux du paramètre «durée d'exposition». Avec l'utilisation de ces termes, l'outil manque de précision pour savoir combien de temps le travailleur est exposé au phénomène dangereux. Le constructeur de l'outil aurait pu mettre entre parenthèses une indication de temps pour pouvoir aider l'utilisateur ou l'évaluateur à être le plus précis lors de l'utilisation de l'outil.

4.2.2 La possibilité d'évitement du dommage

Dans le tableau 14 concernant le paramètre possibilité d'évitement, certains niveaux se dégagent: La colonne A6 correspond à la notion « impossible » d'éviter le dommage ou l'évènement dangereux.

À partir de la colonne A3, apparaît la notion de « possible ».

4.2.2.1 Positionnement relatif des différents niveaux de chacun des outils

Le positionnement des outils, les uns par rapport aux autres, a permis de « définir » des positionnements dans le tableau de ce paramètre. Le tableau rempli montre une correspondance des niveaux grâce aux niveaux suivants présentés dans le tableau 14.

Tableau 14: Définition des différents niveaux pour la possibilité d'évitement avec des exemples d'outils

Niveaux universels	Description	Exemples d'outils concordants
A1	Facilement	Outil: #57: obvious
A2	Probable	Outil: #57: likely
A3	Possible	Outil: #114: possible of trained : possible for people trained to recognize warning and how best to react and warning allows sufficient time
A4	Possible sous certaines conditions	Pas d'outil
A5	Improbable	Outil #57: rarely
A6	Impossible	Outils: #67: impossible: it is impossible to avoid an inhalation of harmful gas hazard where there are no warning signs; #91: impossible; #114: impossible: no warning and/or not enough time to react.

Comme pour les paramètres déjà étudiés, on est confronté, pour la possibilité d'évitement du dommage, au même problème de traduction et surtout d'interprétation des différents mots et expressions utilisés.

4.2.2.2 Définition du paramètre utilisé par les différents outils

Pour le paramètre possibilité d'évitement, l'appellation donnée par les constructeurs des outils définit bien le paramètre, à savoir par exemples : outil #69 « *harm avoidance* », outil #91 « *possibility of avoidance or reduction of the harm* », outil #19 « *avoidance – the technical or human possibilities to avoid or limit the harm* », outil #67 « *possibility to avoid or limit harm* ». Les définitions données pour ce paramètre sont claires et on sait avec précision de quoi il s'agit.

4.2.2.3 Définition des niveaux utilisés par les différents outils

La comparaison des outils n'est, à nouveau, pas très évidente car certains de ces outils utilisent différentes définitions pour aborder le paramètre possibilité d'évitement. Ils utilisent la notion de vitesse des pièces, comme les outils #49 et #91 pour définir ce paramètre. D'autres outils ont des définitions incomplètes, avec peu de niveaux, comme l'outil #19 (2 niveaux), ou encore l'outil #57 qui donne juste un mot pour chaque niveau (5 niveaux au total). L'outil #62 utilise, quant à lui, la notion de danger perceptible ou non perceptible pour définir le paramètre possibilité d'évitement.

4.2.2.4 Répartition des niveaux utilisés par les différents outils

Le tableau 15 synthétise le nombre d'outil qui utilisent les différentes associations trouvées grâce aux échelles d'équivalence pour le paramètre possibilité d'évitement.

Tableau 15: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre possibilité d'évitement

Associations	Nombre d'outils
A1	1
A2	1
A3	1
A5	1
A6	4
A1 + A2	3
A1 + A2 + A3 + A4	3
A1 + A2 + A3 + A4 + A5	1
A3 + A4	2
A3 + A4 + A5	1
A4 + A5	1
A5 + A6	4

De même que pour la durée d'exposition, il n'y a pas vraiment de niveaux ou d'associations qui se dégagent.

4.2.2.5 Notions de séparations des niveaux utilisés par les différents outils

Il ressort que lorsqu'on parle de possibilité d'évitement, diverses notions apparaissent avec divers niveaux:

- La notion de la vitesse de déplacement de la machine: en utilisant cette notion, l'utilisateur peut avoir de la difficulté à interpréter et à se représenter la vitesse de déplacement des pièces. De plus, elle peut être très subjective selon les différents utilisateurs. Il est également important de connaître la nature de la pièce, car par exemple un boulon va avoir moins d'importance ou de risque qu'un moteur de voiture.
- La notion des mots sans définition : en utilisant juste des mots, l'utilisateur n'a pas assez de détails pour pouvoir positionner convenablement son niveau et ainsi pouvoir répéter l'exercice.
- La notion des moyens sonores ou lumineux pour éviter le danger : en utilisant cette notion, il est important de préciser si ces moyens sont visibles et audibles lors du travail des employés, permettant ainsi une réaction rapide des travailleurs.

Des mélanges de notions se retrouvent dans certains outils : certains vont commencer avec une notion et ensuite poursuivre avec une autre notion. Ces résultats se retrouvent dans le tableau 16.

Tableau 16: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre possibilité d'évitement

Notions	Nombre d'outils	Outils
Vitesse de déplacement de la machine	1	#49
Seulement des mots sans définition	1	#57
Moyens sonores ou lumineux pour éviter le danger	1	#114
Vitesse de déplacement de la machine et Moyens sonores ou lumineux pour éviter le danger	1	#67
Possibilité d'éviter sous certaine conditions	4	#19, #62, #69, #91

4.2.2.6 Exemples d'erreur de construction

- outil utilisant des conditions pour définir la possibilité d'évitement

Outil #19 : utilise les notions de « *possible under specific conditions* » et « *scarcely possible* » pour définir les deux niveaux du paramètre possibilité d'évitement. Ces deux termes manquent de précision car on ne sait pas, d'une part sous quelles conditions le dommage peut être évité : est-ce de la formation, la mise en place de moyens de protection et d'autre part ce que la notion « *scarcely possible* » définit. L'outil aurait pu donner des précisions entre parenthèse afin d'aider l'utilisateur ou l'évaluateur dans l'utilisation de ce paramètre.

- outil utilisant seulement des mots pour définir la possibilité d'évitement

Outil #57 : utilise seulement des mots pour définir le paramètre possibilité d'évitement. Comme il en a été la question précédemment, l'utilisation de simples mots ne permet pas d'avoir une précision sur les différents niveaux.

- outil utilisant des termes vagues pour définir la possibilité d'évitement

Outil #69 : utilise les notions « *harm can be normally avoided* » et « *harm avoidance is seldom or not possible* » pour définir les deux niveaux du paramètre possibilité d'évitement. Ces deux termes manquent de précision car, comme pour l'outil #19, la question est de savoir, d'une part sous quelles conditions le dommage peut être évité, et d'autre part ce que la notion « *harm avoidance is seldom or not possible* » définit.

Bien définir les différents niveaux avec le plus de précisions possible afin de ne pas avoir de manque d'explication ou de manière pour éviter un dommage permet à l'utilisateur ou à l'évaluateur d'utiliser le mieux possible ce paramètre et donc les outils. Par exemple dans la définition des différents niveaux, les notions de signaux sonores ou de gyrophare pourraient être précisées pour pouvoir détailler et aider l'utilisateur dans son choix de sélection des différents niveaux.

4.2.3 La probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

L'annexe 7 présente l'échelle d'équivalence du paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux.

Les paramètres concernant la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux, et ceux de la probabilité d'occurrence du dommage sont séparés. Ces deux notions sont très différentes, mais aussi très importantes. La probabilité d'occurrence d'un évènement dangereux est estimée en tenant compte :

- des données de fiabilité et d'autres données statistiques ;
- de l'historique des accidents ;
- de l'historique des atteintes à la santé ;
- d'une comparaison des risques avec ceux que présente une machine similaire (si certaines conditions sont remplies).

4.2.3.1 Positionnement relatif des différents niveaux utilisés par chacun des outils

Pour cette échelle d'équivalence, les outils #69 et #19 nous donnent une définition un peu plus détaillée, ce qui permet de positionner plus facilement les outils les uns par rapport aux autres. Cependant, il a aussi été nécessaire d'ajouter des niveaux. En effet, des outils définissent le paramètre par une graduation de « négligeable » à « haut » avec différents niveaux : les outils #62, #67 et #57 se positionnent sur 5 niveaux ; les outils #62 et #67 donnent des définitions complètes alors que l'outil #57 n'a que des mots pour ces différents niveaux. Les outils #19, #53 et #69 se positionnent seulement sur 3 niveaux ; les outils #19 et #53 n'ont que des mots pour définir les 3 niveaux, ce qui est plus difficile à interpréter alors que l'outil #69 donne une petite définition.

Le positionnement des outils, les uns par rapport aux autres, a permis de « définir » des positionnements dans le tableau. On obtient donc, une fois le tableau rempli, une correspondance des niveaux grâce aux niveaux présentés dans le tableau 17.

Tableau 17: Définition des différents niveaux pour la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux avec des exemples d'outils

Niveaux universels	Description	Exemples d'outils concordants
Pe1	Négligeable	Outils : #17 : extremely remote – 1 in a million ; #62 : évènement difficilement imaginable.
Pe2	Rarement	Outils : #57 : rarely ; #62 : évènement imaginable, mais inhabituel.
Pe3	Possible	Outils : #57 : possible ; #62 : évènement est possible ; #69 : middle : harm is possible but not necessary.
Pe4	Probable	Outils : #57 : likely ; #62 : on peut s'attendre à ce que l'événement se produise.
Pe5	Courant/fréquent	Outils : #19 : high – likely to occur frequently ; #57 : common ; #62 : il faut s'attendre à ce que l'événement se produise.

4.2.2.2 Définition du paramètre utilisé par les différents outils

Les exemples du tableau 17 trouvés dans les échelles d'équivalence permettent d'affirmer que comme pour les paramètres déjà étudiés, on est confronté, pour la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux, au même problème de traduction et surtout d'interprétation des différents mots et expressions utilisés. Pour le paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux, on peut voir que l'appellation donnée par les concepteurs définissent bien le paramètre, à savoir par exemple : outils #91 et #57 « *probability of occurrence of hazardous event* », outil #19 « *probability of occurrence of an event which can cause harm* », outil #67 « *probability of occurrence of a hazard event* ». Ainsi les définitions données pour ce paramètre sont claires et permettent de comprendre avec précision de quoi il s'agit. Seul, l'outil #53 définit le paramètre de façon floue, à savoir « *potentiel relié à l'activité* ».

4.2.3.3 Définition des niveaux utilisés par les différents outils

L'étude de la manière dont sont répartis les différents niveaux, montre qu'il n'y a pas vraiment de problème de construction. Par contre, certains outils ne font pas la différence entre une probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux probable et une probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux courante. En effet, une probabilité courante est quelque chose qui va se produire régulièrement, alors qu'une probable n'est pas sûr de se produire.

L'outil #91 définit lui, la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux pour les niveaux 4 et 5 par : « *Technical failure regularly observed (every six months or less); inappropriate human action by an untrained person, with less than six months experience on the workstation; similar accident observed in the plant since ten years* » . Cette définition permet de relativement bien évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement. Elle s'appuie sur la défaillance technique (précisée par une fréquence), provoquée par une erreur humaine. Cette définition s'appuie sur l'expérience de l'entreprise.

De son côté l'outil #69 définit pour ces mêmes niveaux la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux : « *High: harm is mostly consequence of exposure* ». Cet outil base la définition de la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux par rapport à l'exposition.

Ces 2 outils ont une approche très différente concernant la définition de la probabilité d'occurrence de l'évènement. L'un met en avant le facteur humain, l'autre l'exposition. Une harmonisation des facteurs d'occurrence serait nécessaire pour pouvoir évaluer des niveaux similaires.

4.2.3.4 Répartition des niveaux utilisés par les différents outils

Le tableau 18 synthétise le nombre d'outils qui utilisent les différentes associations pour le paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux.

Tableau 18: Nombre d'outils utilisant les différentes associations pour le paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

Associations	Nombre d'outils	Outils
Pe1	4	#17, #57, #62, #67
Pe2	4	#17, #57, #62, #67
Pe3	6	#17, #57, #62, #67, #69, #91
Pe4	4	#17, #57, #62, #67
Pe5	6	#17, #19, #53, #57, #62, #67
Pe1 + Pe2	4	#19, #53, #69, #91
Pe3 + Pe4	2	#19, #53
Pe4 + Pe5	2	#69, #91

D'après le tableau 18, deux niveaux se dégagent un peu des autres, ce sont les niveaux Pe3 et Pe5. Ces deux niveaux doivent être pris en considération comme niveaux incontournables pour définir ce paramètre.

4.2.3.5 Notions de séparations des niveaux utilisés par les différents outils

L'analyse des niveaux des différents outils permet de faire ressortir les diverses notions :

- La notion des probabilités : l'utilisation de probabilités entraîne une subjectivité dans l'interprétation des différents niveaux définissant la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux. Par exemple, une probabilité d'une chance sur cinq peut être considérée comme fréquente pour un utilisateur, alors qu'un autre pourra la voir comme occasionnelle.

- La notion des mots sans définitions : l'utilisation de mots sans définition ne donne pas assez de détails sur les différents niveaux qui définissent la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux. Chaque personne peut interpréter un mot différemment et donc peut lui accorder une importance plus ou moins grande. Par exemple, « fréquent » pour une probabilité peut être interprété comme quelque chose qui survient une fois tous les jours, alors qu'une autre personne peut le voir comme quelque chose qui survient toutes les heures.
- La notion d'erreur humaine : cette notion est intéressante pour définir la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux. Il serait utile de présenter dans cette notion l'état dans lequel se trouve le travailleur (stress, dépression, problèmes familiaux...). Par exemple, un travailleur qui a des problèmes familiaux a plus de chance à commettre une erreur (manque de concentration) que quelqu'un sans problème.
- La notion de mécanique (ex: robustesse de la machinerie...) : peut-on utiliser la robustesse pour définir des niveaux de la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux, car plus le temps va passer moins les machines seront robustes ? De plus, est ce que la maintenance a toujours été faite ? A-t-elle toujours été faite par un professionnel ? Il serait intéressant de ne pas définir les différents niveaux de ce paramètre avec seulement la robustesse de la machinerie. Par exemple, une machine qui est vérifiée tous les jours, n'empêchera pas forcément un accident du travail. La machinerie n'est pas le seul paramètre à prendre en compte.
- La notion de l'exposition à l'évènement dangereux : il est important de bien définir les différents paramètres, car si un paramètre est défini par un autre, et que ce dernier n'est pas défini avec des détails, l'utilisateur aura de la difficulté à se positionner dans ces deux paramètres. Par exemple le paramètre de la gravité du dommage est défini par la probabilité d'occurrence du dommage avec seulement des mots, comme : « improbable », « probable », « fréquent ». Il est alors difficile de se positionner dans ces deux paramètres, car il n'y a aucune indication ou détail qui pourrait aider l'utilisateur.

Des mélanges de notions sont faits dans certains outils: certains vont commencer avec une notion et ensuite poursuivre avec une autre notion. Les résultats sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19: Les différentes notions utilisées par les outils pour définir le paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

Notions	Nombre d'outils	Outils
Probabilités	1	#17
Mots sans définition	2	#53, #57
Notion d'erreur humaine	1	#67
Notion de mécanique	2	#62, #91
Notion liée à l'exposition	2	#19, #69

4.2.3.6 Exemple d'erreur de construction

- outils utilisant seulement des mots pour définir la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux.

Outil #53 et #57 : utilisent seulement des mots pour définir le paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux. L'utilisation de simples mots indique un manque de précision au niveau des différents niveaux définis par le constructeur. L'utilisateur ou l'évaluateur aura donc de la difficulté à définir les niveaux associés à ce paramètre car chacun a sa propre sensibilité et subjectivité.

- outil utilisant la notion de technologie pour définir la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

Outil #91 : utilise les notions « *mature technology* », « *technical failure observed* » et « *technical failure regularly* » pour définir ce paramètre. La construction de l'outil se base sur la fiabilité de la machine et non pas sur la possibilité que l'évènement dangereux se produise pour définir la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux.

- outil utilisant les probabilités pour définir la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

Outil #17 : utilise des probabilités pour définir ce paramètre. L'utilisation de probabilité est subjective car chaque utilisateur peut en faire une interprétation différente. De plus, pour l'utilisation de probabilité, il est important d'avoir un référentiel de départ.

- outil ne définissant pas les probabilités d'occurrence du dommage ou de l'évènement dangereux

Outil #49 : ne définit ni la probabilité d'occurrence du dommage, ni la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux. Il y a donc un problème de construction car cet outil réalise l'estimation des risques avec seulement trois paramètres à savoir la gravité du dommage, la fréquence d'exposition et la possibilité d'évitement.

- outil utilisant des termes comme «peu souvent, possible...» pour définir la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

Outil #69: utilise les notions « harm will occur very seldom », « harm is possible but not necessary » et « harm is mostly consequence of exposure ». Concernant le troisième niveau, le constructeur dit « le dommage est en général la conséquence de l'exposition ». L'exposition est mal définie au niveau de la durée pour cet outil, le constructeur ne précise pas si c'est la fréquence, la durée ou bien les deux. Si bien que lors de l'utilisation de ces deux paramètres (exposition et probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux), on peut faire une double erreur d'utilisation. Il est important de bien définir chaque paramètre, pour ne pas introduire des erreurs si on se réfère à un paramètre pour en définir un autre.

5. DISCUSSION

Cette étude des différents outils, et plus particulièrement les différents paramètres qu'ils utilisent, permet de souligner les points sur lesquels il est nécessaire d'établir un véritable consensus de façon à dégager une manière commune de procéder.

5.1. Synthèse au niveau des paramètres

Les prochaines sections présentent, pour chacun des paramètres, certains critères de construction d'outils qui, à la lumière de l'analyse de la section précédente, permettent d'obtenir des outils mieux structurés et plus facile d'utilisation.

5.1.1. La gravité du dommage

La définition du paramètre de gravité du dommage varie significativement d'un outil à l'autre. Bien que plusieurs de ces ~~définitions~~ sont sensiblement équivalentes, certaines sont vagues et imprécises et peuvent entraîner une confusion pour les évaluateurs. Il est donc souhaitable que les outils définissent adéquatement et avec une certaine précision le paramètre « gravité du dommage ». Par exemple, la définition « Consequences or potential severity of injury » (outil #17) est préférable à la définition « Consequence » (outil #58) qui est vague, imprécise et plus large dans sa signification.

Les définitions des différents niveaux ont aussi avantage à être plus précises. L'utilisation de qualificatifs seuls, sans définition, laisse une trop grande place à l'interprétation des utilisateurs. Il est donc souhaitable de donner ~~des définitions~~ précises et compréhensibles, qui correspondent aux mots ou adjectifs donnés en début de niveau, de façon à ce qu'il n'y ait pas d'équivoque au moment de classer ces différents niveaux. Par exemple : l'outil #85, ne donne pas de mot pour introduire la définition du paramètre, il faut donc lire la définition pour identifier le niveau. Par contre, l'outil #114 propose un mot qui résume la définition du niveau. Cela permet donc de se faire une idée sur la définition qui va suivre et de se positionner par rapport au remplissage du niveau du paramètre. Lorsque l'on utilise un qualificatif et une définition, l'utilisateur est mieux

encadré pour mener à bien son estimation de la gravité du dommage et cela permet une meilleure reproductibilité des résultats inter/intra utilisateurs. Il est aussi important de bien choisir les mots qui sont utilisés comme qualificatifs ou dans les définitions. Comme l'exemple plus haut, l'outil #114 utilise un mot qui résume la définition qui suit, l'utilisateur est donc bien encadré pour pouvoir remplir ce niveau correctement.

Il apparaît aussi important d'éviter de définir deux niveaux avec les mêmes termes ou les mêmes significations. Par exemple, l'outil #1, utilise pour son niveau 2 la définition suivante : « serious – over 3 days lost time » et la définition « major – death or serious injury » pour son niveau 3. Dans cet exemple, le qualificatif « Serious » apparaît dans les deux définitions, ce qui peut déconcerter les utilisateurs. Puisque les niveaux vont en gradation, les termes utilisés doivent faire la même chose, comme par exemple l'outil #62 qui définit ses différents niveaux avec une bonne gradation dans les termes en partant de « très faible », puis « faible », ensuite « moyen », puis « grave » et enfin « très grave ». L'utilisateur de cet outil verra bien l'évolution dans la gravité de la blessure et donc il pourra positionner ses différents niveaux en conséquence.

Par ailleurs, bien que l'utilisation simultanée de différentes notions pour définir les niveaux soit répandue dans les outils, celle-ci doit être faite avec précaution. Par exemple, il est inopportun de définir une gradation de gravité du dommage en évoquant, à un niveau les blessures, puis aux niveaux suivants la perte de temps de travail, les dommages environnementaux ou encore les pertes financières engagées. En effet, une blessure peut difficilement être seulement définie par une perte de temps car un médecin peut donner un mois d'arrêt de travail pour une cheville cassée alors qu'un autre peut donner deux mois d'arrêt. Le temps d'arrêt de travail peut être subjectif, car chaque personne ne récupérera pas de la même façon et ne mettra pas le même temps à retrouver ses capacités. L'outil #1 définit ses deux premiers niveaux avec la notion de perte de temps et définit son dernier niveau avec le décès. Cet outil propose des définitions différentes pour ses différents niveaux, l'utilisateur est donc troublé car il n'a pas les mêmes repères pour utiliser adéquatement l'outil et ainsi bien définir ses différents niveaux.

Au niveau de la séparation des différents niveaux, l'analyse a montré que la majorité des outils faisaient une séparation entre les blessures avec ou sans arrêt de travail, les blessures réversibles et irréversibles et enfin, les blessures et les décès. Suivant ce constat, il semble que ces séparations soient celles qui dégagent le plus grand consensus chez les utilisateurs d'outils d'estimation du risque. Par exemple l'outil #49 exprime dans ses définitions, pour les différents niveaux, la notion de réversibilité et d'irréversibilité. Alors que l'outil #91 ne fait pas une différence marquée entre une blessure réversible et une irréversible. Il est important de faire la différence entre une blessure réversible, c'est-à-dire qui n'aura pas d'impact sur le retour au travail et qui « se répare » (fracture) et une blessure irréversible qui entraîne soit une incapacité partielle ou totale (amputation d'un membre), soit une blessure qui ne se « répare pas » (handicap). Il faut également faire la différence entre la blessure grave (par exemple la blessure grave qui entraîne l'incapacité permanente) et le décès. Par exemple, l'outil #67 ne mentionne pas la mort dans ses différentes définitions pour décrire le paramètre. Il présente juste la difficulté de continuer à travailler. Ou encore l'outil #34 qui dans sa définition ne fait pas la différence entre le décès, les blessures graves et la maladie qui cause une invalidité pour un long-terme, alors que l'outil #58 fait la différence entre des blessures importantes et la mort. Il est important de faire toutes ces différences car chaque blessure a un niveau de gravité différent. La blessure réversible étant le niveau le moins grave, on trouve ensuite la blessure irréversible avec l'incapacité permanente et ensuite le décès. Il est donc important de faire des niveaux de gravité différents pour ces trois types de blessures, car le décès ne peut pas faire partie du même niveau que la blessure réversible : c'est un non sens.

Il est intéressant de noter que la norme ISO 14121 suggère la prise en compte de trois niveaux pour le paramètre de gravité du dommage: léger, grave et décès. De plus, la majorité des outils analysés définissent 4 niveaux pour le paramètre gravité du dommage. Ceci correspond d'ailleurs aux résultats obtenus lors de l'étude de Paques JJ, et al. (2005). Ces résultats suggèrent donc qu'il est préférable d'utiliser un minimum de trois niveaux pour décrire ce paramètre. Un minimum de niveaux du paramètre de gravité du dommage semble aussi important afin de donner plus de précision sur le dommage, et de montrer l'importance de la gradation de la blessure. Lorsque le nombre de niveaux est insuffisant, certains niveaux deviennent des « fourretout» où

l'on retrouve toutes les maladies, professionnelles ou non, et blessures possibles. L'outil #3 par exemple, donne une seule définition pour les niveaux S4 à S8 où il parle de décès, amputation, fractures majeures. Alors que l'outil #10 partage les niveaux S4 à S8 en 3 différents niveaux à savoir : S4 + S5 : blessures majeures, S6 + S7 : décès et S8 : décès multiples. Dans ce dernier cas, l'outil donne plus de détails et définit plus de niveaux pour une meilleure appréciation et utilisation de l'outil. De plus, le nombre de niveaux est proportionnel à la graduation du paramètre, c'est-à-dire que si le paramètre est défini par deux niveaux, il y aura un changement soudain, alors que si l'outil définit 4 niveaux ou plus, il y aura un changement plus graduel.

5.1.2 La probabilité d'occurrence du dommage

De même que pour la gravité du dommage, il faut bien définir et avec précision le paramètre au départ, pour savoir de quoi on parle : par exemple on ne définit pas le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » avec les termes « fréquence d'occurrence » ou encore « niveau de probabilité ».

Contrairement à la gravité du dommage, il n'est pas évident de donner des exemples, car il y a trop de paramètres qui sont intégrés dans la probabilité d'occurrence du dommage. Les probabilités quantitatives n'aident pas vraiment pour définir ce paramètre car elles sont trop floues.

En ce qui concerne les notions de séparation, celles incontournables pour exprimer la probabilité d'occurrence du dommage sont :

- Faire la différence entre une probabilité presque impossible de se produire et une qui pourrait se produire : par exemple l'outil #102 donne une définition liée à une « très petite chance » de se produire mais ne nuance pas sur le fait que ça pourrait se produire. Alors que l'outil #41 fait une gradation en définissant 3 niveaux à savoir : « hautement improbable », « improbable » et « peu probable ».

- Faire la différence entre une probabilité presque certaine de se produire et une qui va se produire fréquemment : par exemple l'outil #114 définit un seul niveau avec « très probable » pour exprimer la probabilité presque certaine de se produire et une qui va se produire fréquemment. La définition ne donne pas de précision, on voit juste que l'accident est très probable de se produire. Alors que l'outil #3 fait une différence entre un dommage qui peut être presque certain de se produire et un qui va se produire fréquemment.
- Faire la différence entre une probabilité qui pourrait se produire et une qui aura lieu au moins une fois : par exemple l'outil #58 ne donne pas de précision sur le fait que l'accident pourrait se produire. Il donne juste le fait que le dommage arrive tous les deux ans. De son côté, l'outil #48 fait la différence entre un accident qui pourrait se produire et un qui pourrait se produire dans plusieurs circonstances.

Pour ce paramètre, cinq niveaux sont requis pour avoir une précision plus adéquate. Ces cinq niveaux correspondent aux niveaux universels trouvés :

- impossible en lien avec presque impossible de se produire (niveau Ph1)
- peu probable en lien avec peu probable mais possible (niveaux Ph2 et Ph3)
- pourrait se produire en lien avec pourrait se produire mais ne s'attend pas (niveaux (Ph4 et Ph5))
- possible (une fois) en lien avec aura lieu au moins une fois (niveau Ph6)
- certitude (plusieurs fois) en lien avec va se produire fréquemment (niveau Ph7)

Pour ce paramètre, on retrouve aussi les mêmes problèmes de construction, en particulier, il ne faut pas avoir deux niveaux de l'outil qui soient définis identiquement (on doit avoir une définition par niveau) : par exemple l'outil #10 présente deux définitions pour un même niveau, à savoir Ph1, de même que les outils #58 et #66 qui présentent tous les deux, deux définitions pour Ph7. Le fait d'avoir deux définitions pour un même niveau, enlève de la précision à l'outil et fait ressortir une espèce de « fourretout » pour l'utilisateur de l'outil.

La documentation qui présente les outils d'estimation du risque n'est pas claire avec ce paramètre, car la pondération n'est pas décrite. L'utilisation de ces outils peut devenir

compliquée, car il y a une subjectivité élevée, une absence d'indication claire sur le fait d'estimer ce paramètre : il n'y a pas d'information sur l'exposition, l'évitement et la probabilité de l'évènement dangereux (ces trois paramètres définissant la probabilité du dommage).

5.1.3 L'exposition

5.1.3.1 la fréquence d'exposition

La définition de ce paramètre doit, elle aussi, être bien claire et précise de façon à savoir de quoi il est question : par exemple on ne définit pas le paramètre fréquence d'exposition avec les termes « exposition » ou encore « potentiel relié à la fréquence d'activité » qui sont vagues et imprécis.

Pour ce paramètre, les différents niveaux devront être, eux aussi, bien définis et avec précision, pas seulement avec des mots (rarement, souvent). Il est nécessaire de donner des définitions précises, compréhensibles et cohérentes, de préférence avec des références temps (jours, semaines, années, changements d'équipe, etc) et qui correspondent aux mots ou adjectifs donnés en début de niveau.

En ce qui concerne les notions de séparation, celles incontournables pour exprimer la fréquence d'exposition sont:

- La différence entre une fréquence de moins d'une fois par an et une hebdomadaire : par exemple l'outil #53 ne donne que « hebdomadaire » comme définition, mais ne précise pas sur le nombre de fois par semaine. De plus il ne donne aucune précision sur une fréquence de moins d'une fois par an et une hebdomadaire. On a donc un trou dans l'échelle du temps. Par contre l'outil #57 nous donne une évolution dans l'échelle du temps en partant de moins d'une fois par an pour aller jusqu'à hebdomadaire.

- La différence entre une fréquence de moins d'une fois par an et une ou plusieurs fois par jour : par exemple l'outil #19 donne une définition vague « rarement à assez souvent ». Cette définition ne renseigne pas du tout sur la fréquence d'exposition au dommage et ne donne aucun renseignement sur la notion de temps. Alors que l'outil #67 définit des intervalles de temps ce qui permet de se situer dans une fréquence d'exposition.

- La différence entre une fréquence de plusieurs fois par jour (1 à 2 fois) et une de plusieurs fois par heure. Là encore les outils ne sont pas précis dans leur définition pour exprimer la fréquence d'exposition. Par exemple, l'outil #19 ne donne aucune indication sur la fréquence d'exposition avec sa définition « fréquent à continu », la question peut se poser : qui a-t-il entre fréquent et continu? Alors que l'outil #114 définit la continuité avec une fréquence d'exposition pendant tout le temps d'utilisation de la machine.

Pour ce paramètre, on retrouve aussi des problèmes de construction, en particulier entre les outils qui précisent l'échelle des temps (heure, semaine, année) et ceux qui ne l'utilisent pas (par ex : « seldom to quite often » et « frequent to continuous »). En effet, le fait de ne pas donner d'échelle de temps peut entraîner une erreur de jugement de la part de l'utilisateur, car chaque personne a un jugement différent et une appréciation différente du temps.

Garder la même manière de définir le paramètre tout au long des différents niveaux. Enfin pour une meilleure estimation du risque, il est important de garder la même manière de définir un paramètre (garder les mêmes unités de temps et la même précision), pour ne pas biaiser le résultat ou tromper l'utilisateur dans ses choix.

5.1.3.2 La durée d'exposition

Le paramètre doit être bien défini au départ : par exemple on ne définit pas le paramètre durée d'exposition avec le terme « exposition au danger » qui est vague et imprécis. Les différents niveaux devront être, eux aussi, bien définis et avec précision au niveau des mots ou des pourcentages, en particulier par rapport au temps de travail journalier, annuel, de carrière. Il est donc intéressant de se référer au quart de travail pour aider l'estimation du risque. En ce qui concerne les notions de séparations, celles incontournables pour exprimer la durée d'exposition sont :

- La différence entre une durée d'exposition inférieure à 45 minutes par quart de travail, et une de 4 heures par quart de travail : en effet, l'outil #17, ne définit pas de niveau entre ces deux notions.

Il y a donc un trou dans l'échelle du temps. Alors que l'outil #62 définit la durée d'exposition sans trou dans l'échelle du temps. Chaque niveau augmente la durée d'exposition de deux heures.

- La différence entre une durée d'exposition inférieure à 45 min par quart de travail et une continue. De même, les outils #69 et #91 ne font pas la différence entre une exposition de 45 minutes par quart de travail et une durée d'exposition continue. Une fois de plus, il y a un trou dans l'échelle du temps.

Il est intéressant de faire la différence entre l'utilisation du paramètre fréquence d'exposition : pour estimer les risques lors de la production (intervention fréquente mais de courte durée : environ 30 secondes) et l'utilisation de la durée d'exposition pour estimer les risques lors de la maintenance (intervention peu fréquente mais plus longue : plusieurs heures).

Trois des outils sur cinq définissent 2 niveaux, chaque outil a défini une classification différente, il n'y a donc pas une classification qui se dégage pour le paramètre « durée d'exposition ». Il n'existe pas de construction dominante pour ce paramètre.

5.1.4 La possibilité d'évitement

L'importance de bien définir et avec précision les différents niveaux, pas seulement avec des mots n'est plus à préciser. Il est important de compléter les définitions avec des données précises et compréhensibles, comme la vitesse de la machine, l'expertise de l'ouvrier, etc.

En ce qui concerne les notions de séparation, celles incontournables pour exprimer la possibilité d'évitement sont:

- La différence entre une possibilité d'évitement facile et une possible sous certaines conditions par exemple l'outil #19 définit une possibilité d'évitement « possible sous certaines conditions », mais ne précise pas ces « certaines conditions ». La précision de ces conditions permettrait à l'utilisateur de l'outil de choisir convenablement le niveau qui convient à sa situation. Il y a donc un manque de précision de la part de l'outil. Il est important de noter que le nombre de niveaux est proportionnel au niveau de détail. Alors que l'outil #49 donne plus de précision en donnant

une vitesse de mouvement du robot pour laquelle le dommage peut être évité, ou encore le fait que des systèmes sonores soient en place pour prévenir le travailleur du danger.

- La différence entre une possibilité d'évitement facile ou possible et une improbable. Par exemple l'outil #69 ne donne aucune précision entre le fait de pouvoir éviter le dommage et ne pas pouvoir l'éviter. Alors que l'outil #114 donne plus de précision sur le fait qu'on peut l'éviter, avec la mise en place de systèmes sonores ou lumineux pour prévenir le travailleur ou qu'on ne peut pas l'éviter car les signaux sont inexistantes.

Les problèmes de construction concernent une fois de plus la précision ; il faut définir les termes des différents niveaux de façon précise, car « possible sous certaines conditions » ne nous précise pas lesquelles, ni si elles sont réalisables.

5.1.5 La probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

La précision des définitions doit être rigoureuse : par exemple on ne définit pas le paramètre probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux avec le terme « potentiel relié à l'activité» qui est vague et imprécis.

En ce qui concerne les notions de séparation, celles incontournables pour exprimer la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux sont:

- La différence entre une probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux probable et une courante : par exemple, l'outil #91 définit la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux en s'appuyant sur la défaillance technique (composants éprouvés ou non) ou provoquée par l'erreur humaine (formation, expérience). La défaillance technique et/ou humaine est un paramètre important dans l'estimation du risque résiduel car elle permet de vérifier la fiabilité des dispositifs de sécurité.

Pour ce paramètre, on retrouve aussi des problèmes de construction, en particulier :

- La construction de l'outil qui renvoie la définition d'un paramètre à un autre paramètre (si le paramètre référent est mal défini ou présente des « trous » dans son échelle du temps, cela va entraîner des problèmes de construction au niveau du paramètre référencé). Par exemple, l'outil #69 renvoie la définition de ce paramètre à la fréquence d'exposition. Seulement, si la fréquence d'exposition est mal définie (trou dans l'échelle du temps), il y aura donc une ou des erreurs au niveau de l'estimation du risque.
- Les outils qui définissent la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux à travers la fiabilité de la machine, sans tenir compte des moyens que l'on peut mettre en place pour limiter ou réduire cette probabilité. Par exemple, l'outil #67 définit ce paramètre avec la fiabilité de la machine, la possibilité de l'erreur humaine. Mais il ne précise pas la mise en place ou non de moyens de protection pour pouvoir diminuer la probabilité de l'évènement dangereux.

5.2 Concernant les outils présentés dans la norme ISO 14121 (outils #67 et #91)

L'analyse des outils issus de cette norme montrent divers manquements.

5.2.1 La gravité du dommage

L'outil #91 ne donne pas de gradation dans l'importance des blessures et ne fait pas de différence entre la réversibilité et l'irréversibilité des blessures.

L'outil #67 ne présente pas de problème de construction particulier pour ce paramètre.

5.2.2 La probabilité d'occurrence du dommage

Pour ce paramètre, ces deux outils n'ont pas de problème de construction. Ils sont tous les deux relativement précis dans les définitions des différents niveaux.

5.2.3 L'exposition

La fréquence d'exposition :

L'outil #91 ne fait pas de différence entre une fréquence d'exposition moins d'une fois par an et une plusieurs fois par jour.

La durée d'exposition :

L'outil #91 ne fait pas de différence entre une durée d'exposition entre 45 min par quart de travail et une durée d'exposition continue

5.2.4 La possibilité d'évitement

L'outil #91 ne fait pas de différence entre une possibilité d'évitement facile et une improbable.

5.2.5 La probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

L'outil #91 ne fait pas de différence entre une probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux probable et une courante. De plus l'outil #91 utilise les notions « mature technology », « technical failure observed» et « technical failure regularly » pour définir ce paramètre. L'outil #67 ne présente pas de problème de construction particulier pour ce paramètre.

6. PROFIL DE L'OUTIL TYPE

Un des objectifs de cette recherche est de trouver les critères de construction d'un bon outil, qui regroupe les paramètres incontournables à utiliser pour faire une estimation du risque. Ainsi la comparaison des outils entre eux et l'exploitation des diverses données recueillies, ont permis de jeter les bases de cet outil type.

6.1 Paramètres et niveaux retenus

Pour le développement ou l'élaboration d'un outil type, deux constructions sont possibles, à savoir celle qui utilise seulement deux paramètres : la gravité du dommage et la probabilité d'occurrence du dommage, et la construction qui utilise la gravité du dommage, l'exposition (la fréquence d'exposition et/ou la durée d'exposition), la possibilité d'évitement et la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux.

6.1.1 Outil utilisant les paramètres principaux

Dans le cas où l'outil utilise seulement les paramètres principaux :

Pour le paramètre « gravité du dommage », il semble plus judicieux de définir 4 niveaux, de façon à pouvoir faire la différence entre, le besoin d'un premier soin ou plus, une blessure réversible et irréversible, avoir une certaine gradation au niveau de la blessure et enfin faire la différence entre un décès et plusieurs décès. De plus, il est important d'avoir, en informations complémentaires, des précisions sur le temps d'absence de l'employé et/ou sur sa capacité à reprendre son travail, soit au même poste de travail, soit s'il doit être reclassé ou encore s'il est reconnu inapte au travail.

Pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage », il est intéressant de définir 4 ou 5 niveaux ce qui permet d'avoir une meilleure précision quant à savoir si le dommage se produira ou non. Il n'est pas nécessaire de garder 8 niveaux, car d'une part l'utilisateur se perdrait dans les définitions et d'autre part il n'est pas non plus important de garder autant de précision. Il est important de noter que pour ce paramètre, on doit retrouver des paliers incontournables pour l'exprimer. En effet, il est intéressant de faire la différence entre une probabilité presque

impossible de se produire et une qui pourrait se produire, mais aussi de différencier une probabilité presque certaine de se produire et une qui va se produire fréquemment, ou encore de séparer une probabilité qui pourrait se produire et une qui aura lieu au moins une fois. Toutes ces probabilités apportent une nuance qui entraîne une possibilité de dommage. Il serait donc nécessaire de les séparer afin de nuancer cette probabilité qu'un dommage se produise.

6.1.2 Outil utilisant les paramètres secondaires

Pour l'outil utilisant les paramètres secondaires, il doit utiliser tous les paramètres secondaires, à savoir : l'exposition (la fréquence et la durée d'exposition), la possibilité d'évitement et la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux. Pour cet outil, on retrouve une construction basée sur :

- La fréquence d'exposition qui est définie soit en 2 niveaux, soit avec 4 niveaux. Pour ce paramètre, il est nécessaire de bien définir l'échelle des temps afin qu'il n'y ait pas de « trous » : annuelle, mensuelle, hebdomadaire, quotidienne. De plus, si on utilise la notion de quart de travail il est important, d'une part de préciser que le temps de travail se déroule sur huit heures et d'autre part, que si on le découpe en pourcentage ou en minutes, de façon qu'il n'y ait pas, là non plus, de « trous » dans l'échelle du temps.
- La durée d'exposition, qui est définie en 2 niveaux. De même que pour la fréquence d'exposition, lorsque l'on définit la durée d'exposition, il ne faut pas faire de « trou » dans l'échelle du temps.
- La possibilité d'évitement qui est définie en 2 niveaux ou en 3 niveaux. Pour ce paramètre, il y a, là aussi, des niveaux incontournables à faire apparaître. Il faut faire la différence entre une possibilité d'évitement facile et une possible, sous certaines conditions, avec des précisions sur les conditions qui s'appliquent, comme la mise en place de formation, de moyens de protection (garde fou, protecteur...), d'exercices de mise en situation critique pour les travailleurs. Il est important de donner toutes les précisions possibles pour que l'utilisateur de l'outil n'ait aucune équivoque lors de son utilisation.

Il est aussi nécessaire de différencier une possibilité d'évitement facile et une improbable, car ces deux notions sont pratiquement opposables. Enfin, il est important de faire la différence entre une possibilité d'évitement possible et une improbable.

- La probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux définie en 3 niveaux. Pour ce paramètre, il est nécessaire de faire la différence entre une probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux probable et une courante. Une probabilité « probable » exprime la possibilité qu'un évènement dangereux se produise mais pas obligatoirement. Alors qu'une probabilité courante signifie que l'évènement dangereux peut se produire souvent.

Pour l'outil qui sera construit avec les paramètres secondaires, il ne faut pas oublier le paramètre « gravité du dommage » qui est un paramètre incontournable. De plus, il n'est pas obligatoire d'utiliser les deux paramètres d'exposition. Néanmoins, pour plus de précision et pour avoir une estimation des risques la plus complète, il vaut mieux définir tous les paramètres secondaires.

6.2 Rationalisation des définitions

Pour les définitions des différents paramètres, comme il a été précisé dans la discussion, il vaut mieux donner le plus de détails possibles pour que l'utilisateur ou l'évaluateur, n'ait aucune équivoque pour pouvoir placer sa situation dangereuse dans le bon niveau.

De plus, il est intéressant de garder la même manière de définir les différents niveaux. Si on donne des définitions précises pour les premiers niveaux et que pour les deux derniers niveaux, on utilise que des mots, on va perdre de la précision. Il faut donc avoir une uniformité dans la définition des niveaux. On peut commencer par un mot et ensuite donner une explication ou une définition de ce mot et donner le plus de détails possibles. Par exemple, on peut préciser le temps d'arrêt du travailleur, ou encore s'il va pouvoir retourner au même poste de travail ou s'il faut le reclasser ailleurs.

CONCLUSION

Au terme de ce mémoire sur l'estimation des risques et des différents paramètres qui la composent, il est possible d'affirmer qu'il existe des principes et des modèles, des stratégies et des moyens pour faire en sorte que les connaissances générées par la recherche et l'expertise, soient plus facilement intégrée dans la mise en place de principes sécuritaires concernant les machines industrielles. Ce champ d'étude a permis une progression significative, mais surtout la mise en place d'une rationalisation de la démarche d'estimation des risques. Cette étude s'inscrit dans la poursuite de cette rationalisation. Elle a consisté à l'expérimentation théorique d'outils d'estimation des risques associés aux machines industrielles.

Dans le cadre de cette recherche, la méthodologie utilisée consistait à étudier un échantillon représentatif de trente et un outils d'estimation des risques associés aux machines industrielles. Il a été établi en s'appuyant sur les résultats d'une étude antérieure. Ensuite, des échelles d'équivalence ont été établies pour chaque paramètre : la gravité du dommage, la probabilité d'occurrence du dommage, la fréquence et durée d'exposition, la possibilité d'évitement et la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux. Les outils choisis ont été expérimentés dans des démarches systématiques afin de caractériser leurs points communs et leurs différences selon les performances obtenues lorsqu'ils servent à estimer les risques, sur la base des échelles d'équivalence préétablies pour chaque paramètre. On a ensuite comparé les outils les uns par rapport aux autres, sans créer de référentiel, pour pouvoir faire ressortir les différences entre les différents outils. Cette analyse a montré, par exemple, l'influence du nombre de paramètres ou de leurs seuils, sur les résultats possibles. Une fois les résultats obtenus, on a pu faire ressortir les paramètres incontournables à avoir, pour faire une estimation des risques, ainsi que les classifications les plus appropriées pour pouvoir définir les différents paramètres le plus précisément possible. Cette méthodologie a donc permis de réaliser les trois objectifs définis dans ce travail de recherche, à savoir la compréhension du processus d'estimation du risque, l'apport de nouvelles connaissances à travers les résultats obtenus et la sélection de critères de construction d'un bon outil.

Les performances et limites de ces outils mèneront à des pistes pour sélectionner des méthodes et outils d'estimation des risques associés aux machines qui sont adéquats pour les entreprises québécoises. Mais aussi elles permettront de donner des règles ou des indices à respecter en cas de construction d'un outil d'estimation des risques. Une meilleure compréhension des outils d'estimation des risques associés aux machines permettra de rendre plus efficace la démarche d'appréciation des risques et de mettre en place des moyens de réduction des risques adaptés, afin de réduire le nombre d'accidents associés aux machines dangereuses.

Une étude est en cours pour tester les outils sélectionnés en situations dangereuses, afin de voir si l'estimation du risque est précise et si elle est cohérente. Par la suite, il sera intéressant de construire un outil type et de le faire tester par des utilisateurs en entreprise pour savoir s'il est performant dans la précision de l'estimation du risque.

BIBLIOGRAPHIE

ANSI B11.TR3 (2000) *ANSI Technical Report - Risk assessment and risk reduction - A guide to estimate, evaluate and reduce risk associated with machine tools*, American national Standard, 21 p.

AS/NZS 4360:2004 (2004) *Risk management*, Australian and New-Zealand Standard, 28 p.

Beyth-Marom R. (1982). How Probable is Probable? A Numerical Translation of Verbal Probability Expressions, Decision Research, A Branch of Perceptronics, Eugene, Oregon, Journal of Forecasting, Vol. 1, 257-269.

BS 8800:2004 (2004) *Occupational health and safety management systems - Guide*, British Standard Institute, 76 p.

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

Chinniah Y, (2007). Expérimentation théorique des outils d'estimation des risques associés aux machines industrielles : IRSST 099-661.

Cho HN, Choi HH, Kim YB (2002). A *risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts*, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 78, No. 2, p. 173-183.

Compagny A (2002) Identification des dangers et risques en Santé/Sécurité.

Company P (2003) Risk assessment and risk reduction.

Company R (2004) *Évaluation des risque* - Partie 2: Évaluation des mesures de réduction des risques.

Company X (1997) *Tableau d'analyse de risque* (sans titre).

Cox RT, (1946) "Probability, Frequency, and Reasonable Expectation", *American Journal of Physics*, 14, 1-13.

Bernoulli D., (1738) (ODEM : Office Départemental de l'Environnement du Morbihan, Atlas de l'environnement, section « risques » <http://www.odem.fr/dossiers/risques/historique.html>.

Encyclopédie Larousse, <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/risque>.

Etherton J. (2007). Industrial Machine Systems Risk Assessment: A Critical Review of Concepts and Methods: Center for Safer Solutions, USA.

Farmer (2008), www.planetecologie.org/ENCYCLOPEDIE/EnvironEurope/seveso.htm

Gondar Design (2000) *Risk assessments*, <http://www.purchon.co.uk/safety/risk.html>, 5 p.

Görnemann, O. (2003) SICK AG Scalable *Risk Analysis & Estimation Method (SCRAM)*, ISO/TC199 WG 5 N 0049, 12 p.

HSL (2008) How to complete a methodical risk estimation?

IEC 62278 (2001) *Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, availability, Maintainability and safety (RAMS)*, International Electrotechnical Committee.

IRSST, CSST (2004) Sécurité des machines : phénomènes dangereux, situations dangereuses, évènements dangereux, dommages, DC 900-337 (07-02), 15 p.

ISO/TS 14798 (2006) Lifts (elevators), escalators and moving walks -- Risk assessment and reduction methodology (annex C).

ISO 14121-1 (2007), Sécurité des machines, Appréciation du risque, Partie 1 : Principes, norme internationale.

ISO 14121-2 (2007), Sécurité des machines, Appréciation du risque, Partie 2 : Lignes directrices pratiques et exemples de méthodes, norme internationale.

ISO 12100 (2003), Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception, norme internationale.

Lamy P., Charpentier P. (2009). Estimation des risques, recensement des méthodes et subjectivité des paramètres de l'estimation : INRS ND 2305-214-09.

Main, B.W. (2004) *Risk Assessment Basics and Benchmark*, Ann Arbor, Michigan: Design Safety Engineering Inc., 478 p.

MIL-STD-882D (2000) *Standard Practice for System Safety* (Appendix A), US Department of Defense, <http://www.assistdoc.com> – downloaded: 2006-11607T14:10Z.

Mortensen, A. (1998) Risk assessment - the "Nordic method", Danish National Working Environment Authority, Nordic minister council, DK: ISBN 87-7534-011-9.

OSHA 1904.12, (2001) *Recording criteria for cases involving work-related musculo-skeletal disorders*, Occupational Safety and Health Administration (OSHA) U.S. Department of Labor, 29 CFR Part 1904, [Docket No. R-02A], RIN 1218-AC00

Orsoni A. (2006). Fuzzy and simulation-based techniques for industrial safety and risk assessment, Kingston (UK).

Paques JJ, Lamy P., Gauthier F. (2005a). Proposal for classifying machine risk estimation tools, PR99343 Publication proposal for Safety Sciences: Classification of machine risk estimation tools.

Paques JJ, Gauthier F., Pérez A., Charpentier P., Lamy P., David R., (2005b). Bilan raisonné des outils d'appréciation des risques associés aux machines industrielles, IRSST 099-343.

Paques JJ, (2005c). Projet 99-216 : Transfert de compétences en formation sur la gestion de la sécurité des machines et les moyens de protection. Colloque organisé par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail : Sécurité des machines : Analyse des risques associés aux machines industrielles, 8 juin 2004, Montréal, Québec, Canada.

Paques JJ, Gauthier F. (2006). Une programmation thématique : projets intégrés sur les méthodes d'appréciation des risques associés aux machines industrielles : INRS ND 2259-205-06.

Queensland Metal: *The Metal Manufacturing and Minerals Processing Industry Committee* (2002) A Guide to Practical Machine Guarding, Queensland Government - Workplace Health and Safety, 25p.

Raafat Matrix: *Machinery Safety: The risk-based approach*, Practical guidelines on risk assessment, standards and legislation.

Raafat Risk Calculator: *Machinery Safety: The risk-based approach*, Practical guidelines on risk assessment, standards and legislation.

Rototic Industry: *American National Standard for Industrial Robots and Robots Systems - Safety Requirements - ANSI/RIA R15.06 (1999)*.

Ruge, B. (2004) BASF Risk Matrix as Tool for Risk Assessment in the Chemical Process Industries, BASF.

Schäbe H. (2004) Definition of Safety Integrity Levels and the Influence of Assumptions, Methods and Principles Used: TÜV InterTraffic, Am Grauen Stein, 51105 Köln (Germany).

Simard M., Lévêque C. et Bouteiller D. (1986) Services spécialisés et comités paritaires de santé-sécurité du travail : *Exploration de la dynamique du champ de la prévention dans les entreprises syndiquées*. Sociologie et sociétés, Volume 18, numéro 2, octobre 1986, p. 73-86, Les Presses de l'Université de Montréal.

SUVA (2002) (outil 62) Méthode SUVA d'appréciation des risques liés aux installations et appareils techniques, Caisse nationale Suisse d'assurance en cas d'accidents.

Wallsten T. S., Budescu D.V., Rapoport A., Zwick R., Forsyth B. (1986). *Measuring the vague meanings of probability terms*, Journal of experimental psychology. General, vol. 115, n°4, pp. 348-365 (2 p.).

Worsell, N, Wilday, J. (1997) The Application of Risk Assessment to machinery safety - Review of risk ranking and risk estimation techniques, Health and Safety Laboratory, Great Britain, 130 p.

Woodruff, J. M. (2005). Consequence and likelihood in risk estimation: a matter of balance in UK health and safety risk assessment practice, Safety Science, Vol. 43, No. 5-6, p. 345-353.

Études de danger, analyse des risques, plans de prévention :

www.planeteecologie.org/ENCYCLOPEDIE/EnvironEurope/seveso.htm

ANNEXES

Annexe 1: Liste définitive des 31 outils retenus

Outils	Références				
N°	Références principales	Construction	Paramètres	Niveaux	Provenance
1	Worsell, N, Wilday, J. (1997) The Application of Risk Assessment to Machinery safety: Review of Ranking and Risk Estimation Techniques, Health and Safety Laboratory, UK, 130 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	3	Compagnie et Université
			Probabilité du dommage	3	
3	BS 8800:2004 (2004) Occupational health and safety management systems - Guide, British Standard Institute, 76 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	3	Compagnie
			Probabilité d'occurrence du dommage	2	
6	Worsell, N, Wilday, J. (1997) The Application of Risk Assessment to Machinery safety: Review of Ranking and Risk Estimation Techniques, Health and Safety Laboratory, UK, 130 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	4	Guide « The Institution of Occupational Safety and Health »
			Probabilité d'occurrence du dommage	5	
7	Machinery Safety: The risk-based approach, Practical guidelines on risk assessment, standards and legislation	Matrice de risques	Gravité du dommage	4	The Health and Safety Series – Best Practice Management Reports (publication)
			Probabilité d'occurrence du dommage	5	
10	Worsell, N, Wilday, J. (1997) The Application of Risk Assessment to Machinery safety: Review of Ranking and Risk Estimation Techniques, Health and Safety Laboratory, UK, 130 p.	Opération numérique (échelle quantitative)	Gravité du dommage	5	Livre « Hazard Identification and Risk Assessment »
			Probabilité d'occurrence du dommage	5	
17	Machinery Safety: The risk-based approach, Practical guidelines on risk assessment, standards and legislation	Opération numérique (diagramme)	Gravité du dommage	6	The Health and Safety Series – Best Practice Management Reports (publication)
			Probabilité d'occurrence du dommage	6	
19	Worsell, N, Wilday, J. (1997) The Application of Risk Assessment to Machinery safety: Review of Ranking and Risk Estimation Techniques, Health and Safety Laboratory, UK, 130 p.	Graphe de risques	Gravité du dommage	3	Guide « The Machinery Directive : Related Topics »
			Fréquence d'exposition	2	
			Durée d'exposition	2	
			Evitemen	2	
			Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux	3	

Outils	Références				
N°	Références principales	Construction	Paramètres	Niveaux	Provenance
24	ANSI B11.TR3 (2000) ANSI Technical Report - Risk assessment and risk reduction - A guide to estimate, evaluate and reduce risk associated with machine tools, American national Standard,	Matrice de risques	Gravité du dommage	4	Guide "Risk Assessment and Risk Reduction"
			Probabilité d'occurrence du dommage	4	
33	Main, B. (2004) Risk Assessment Basics and Benchmark, Design Safety Engineering, 485 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	3	Guide « Consumer Products »
			Probabilité d'occurrence du dommage	3	
34	Main, B. (2004) Risk Assessment Basics and Benchmark, Design Safety Engineering, 485 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	3	Guide « Risk Assessment : Basics and Benchmarks »
			Probabilité d'occurrence du dommage	3	
35	Main, B. (2004) Risk Assessment Basics and Benchmark, Design Safety Engineering, 485 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	5	Guide « Risk Assessment : Basics and Benchmarks »
			Probabilité d'occurrence du dommage	5	
41	ISO/TS 14798 (2006) Lifts (elevators), escalators and moving walks -- Risk assessment and reduction methodology (annex C)	Matrice de risques	Gravité du dommage	4	Norme ISO/TS 14798 :2006
			Probabilité d'occurrence du dommage	6	
44	MIL-STD-882D (2000) Standard Practice for System Safety (Appendix A), US Department of Defense	Matrice de risques	Gravité du dommage	4	Guide
			Probabilité d'occurrence du dommage	5	
45	Main, B. (2004) Risk Assessment Basics and Benchmark, Design Safety Engineering, 485 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	4	Guide « Risk Assessment : Basics and Benchmarks » (US ARMY)
			Probabilité d'occurrence du dommage	5	
46	Main, B. (2004) Risk Assessment Basics and Benchmark, Design Safety Engineering, 485 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	4	Guide « Risk Assessment : Basics and Benchmarks » (US NAVY)
			Probabilité d'occurrence du dommage	4	
48	AS/NZS 4360:2004 (2004) Risk management, Australian and New-Zealand Standard, 28 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage	5	Guide « Risk Assessment : Basics and Benchmarks »
			Probabilité d'occurrence du dommage	5	
49	American National Standard for Industrial Robots and Robots Systems - Safety Requirements - ANSI/RIA R15.06 (1999)	Matrice de risques	Gravité du dommage	2	Guide "American National Standard"
			Fréquence d'exposition	2	

Outils	Références				
N°	Références principales	Construction	Paramètres	Niveaux	Provenance
			Evitement	2	
53	Compagny A (2002) Identification des dangers et risques en Santé/Sécurité	Opération numérique	Gravité du dommage Fréquence d'exposition Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux Probabilité d'occurrence du dommage	4 3 3 3	Procédure de compagnie
55	Company P (2003) Risk assessment and risk reduction	Matrice de risques	Gravité du dommage Fréquence d'exposition	4 4	Tableau compagnie
57	Company X (1997) Tableau d'analyse de risque (sans titre)	Matrice de risques	Gravité du dommage Fréquence d'exposition Evitement Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux	4 5 5 5	Procédure compagnie
58	Company R (2004) Évaluation des risque - Partie 2: Évaluation des mesures de réduction des risques	Matrice de risques	Gravité du dommage Probabilité d'occurrence du dommage	5 5	Guide compagnie
62	SUVA (2002) Méthode SUVA d'appreciation des risques liés aux installations et appareils techniques, Caisse nationale Suisse d'assurance en cas d'accidents	Matrice de risques	Gravité du dommage Durée d'exposition Evitement Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux	5 5 3 5	Publication : Méthode d'appreciation des risques
66	IEC 62278 (2001) Railway applications - The specification and demostration of Reliability, availability, Maintainability and safety (RAMS), International Electrotechnical Committee.	Matrice de risques	Gravité du dommage Probabilité d'occurrence du dommage	4 6	Guide IEC 62278:2002

Outils	Références				
N°	Références principales	Construction	Paramètres	Niveaux	Provenance
67	Mortensen, A. (1998) Risk assessment - the "Nordic method", Danish National Working Environment Authority, Nordic minister council	Hybride	Gravité du dommage	4	Norme ISO 14121-2
			Fréquence d'exposition	5	
			Evitement	3	
			Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux	5	
			Gravité du dommage	3	
69	Görnemann, O (2003) SICK AG Scalable Risk Analysis & Estimation Method (SCRAM), ISO/TC199 WG 5 N 0049, 12 p.	Matrice de risques	Fréquence d'exposition	2	Norme ISO/TC 199/WG 5 N 0049
			Durée d'exposition	2	
			Evitement	2	
			Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux	3	
			Gravité du dommage	4	
85	Ruge, B. (2004) BASF Risk Matrix as Tool for Risk Assessment in the Chemical Process Industries, BASF	Matrice de risques	Probabilité d'occurrence du dommage	5	Publication « Risk Matrix as Tool for Risk Assessment in the Chemical Process Industries »
			Gravité du dommage	3	
89	The Metal Manufacturing and Minerals Processing Industry Committee (2002) A Guide to Practical Machine Guarding, Queensland Government - Workplace Healt and Safety.	Matrice de risques	Probabilité d'occurrence du dommage	4	Guide « A Guide to Practical Machine Guarding »
			Gravité du dommage	3	
91	Norme ISO 14121	Graphe de risques	Fréquence d'exposition	2	Norme ISO 14121-2
			Durée d'exposition	2	
			Evitement	2	
			Probabilité d'occurrence de	3	
			Gravité du dommage	2	

Outils	Références				
N°	Références principales	Construction	Paramètres	Niveaux	Provenance
			l'évènement dangereux		
94	CSA-Q634-91 (1991) Risk Analysis Requirements and Guidelines, Canadian Standard Association	Matrice de risques	Gravité du dommage Probabilité d'occurrence du dommage	4 5	Guide "Risk Analysis Requirements and Guidelines"
102	Gondar Design (2000) Risk assessments, http://www.purchon.co.uk/safety/risk.html , 5 p.	Matrice de risques	Gravité du dommage Probabilité d'occurrence du dommage	3 3	Guide « Risk Assessments »
114	HSL (200?) How to complete a methodical risk estimation	Matrice de risques	Gravité du dommage Fréquence d'exposition Evitement Probabilité d'occurrence du dommage	4 4 4 4	Publication "How to complete a methodical risk estimation"

Annexe 2: Échelle d'équivalence : gravité du dommage

		Niveaux										
Outils	Gravité du dommage	S1 Égratignures, sans premiers soins	S2 Notion de premier soin, sans arrêt de travail	S3 Arrêt de travail et nécessite plus que le premier soin	S4 Dommage irréversible : invalidité légère	S5 Invalidité moyenne, retour au travail mais peut être pas au même poste	S6 Incapacité permanente	S7 Décès	S8 Décès multiples			
49	Severity of injury	- S1 : Slight Injury (Normally reversible; or requires only first-aid as defined in OSHA 1904.12)	- S2 : Serious Injury (Normally irreversible; or fatality; or requires more than first-aid as defined in OSHA 1904.12)									
62	Gravité du dommage	- V : Très faible (Blessure sans arrêt de travail)	- IV : Faible (Blessure avec arrêt de travail)	- III : Moyen (Invalidité légère, capacité de travail pour la profession acquise ou pour une profession équivalente; influe peu sur la qualité de vie)	- II : Grave (Invalidité grave – incapacité de travail pour la profession acquise ou pour une profession équivalente; influe sur la qualité de vie)	- I : Très grave (Décès)						
67 (C)	Severity	1- Scratches, bruises that are cured by first aid or similar.	2- More severe scratches, bruises, stabbing, which require medical attention from professionals.	3- Normally irreversible injury. It will be slightly difficult to continue work after healing	4- Irreversible injury in a way that it will be very difficult to continue work after healing, if possible at all.							
91	Gravité du dommage (S)	- S1 : blessure légère (habituellement réversible); exemples: égratignure, laceration, bleu, coupure légère nécessitant les premiers soins, etc.	- S2 : blessure sérieuse (habituellement irréversible, y compris fatale); exemples : membre cassé ou arraché ou écrasé ; fracture ; blessure sérieuse nécessitant des points de suture ; troubles musculosquelettiques majeurs (TMS) ; décès ; etc.									
48	Qualitative measures of impact	Insignificant – No injuries, low financial loss, negligible environmental impact	Minor – First aid treatment, on-site release required, on-site release contained, medium financial loss	Moderate – Medical treatment required, on-site release contained with outside assistance, high financial loss	Major – Extensive injuries, loss of production capability, off-site release contained with outside assistance and little detrimental impact, major financial loss			Catastrophic – Death, toxic release off-site with detrimental effect, huge financial loss				
1	Hazard in term of the potential to cause harm	1: Slight – less than 3 days lost time				2: Serious – over 3 days lost time	3: Major – death or serious injury					
3	Severity of harm	Superficial injuries – minor cuts and bruises, eye irritation from dust			Lacerations – burns, concussion, serious sprains, minor fractures	Fatal injuries – amputations, multiple injuries, major fractures						
6	Worst likely	Environmental – plant damage i.e. Minor injury			Major injury – permanent disability		Fatality					

		Niveaux							
Outils	Gravité du dommage	S1 Égratignures, sans premiers soins	S2 Notion de premier soin, sans arrêt de travail	S3 Arrêt de travail et nécessite plus que le premier soin	S4 Dommage irréversible : invalidité légère	S5 Invalidité moyenne, retour au travail mais peut être pas au même poste	S6 Incapacité permanente	S7 Décès	S8 Décès multiples
	outcome	no injury		including permanent ill health					
7	Consequences (severity)	Minor		Major		Severe		Fatal	
10	Severity class	I: Minor: possible injury to plant personnel, near-miss incide		2: Appreciable: injury to plant personnel, reportable near miss incident under CIMA Regulations.,	3: Major: injuries to less than five plant personnel with one in ten chance of fatality		4: Severe: more than five injuries or one fatality of plant personnel, a one in 10 chance of a public injury,	5: Catastrophic: three or more fatalities of plant personnel, more than five injuries or fatality of member of public,	
17	Consequences or potential severity of injury	VI – Insignificant	V – Minor	IV – Major		III – Severe		II – Fatality	I – Multiple fatalities
19	Severity (of the possible harm)	I: Slight (normally reversible) injury or damage to health			2: Serious (normally irreversible) injury or damage to health		3: Death		
24	Severity of harm	Minor – no injury or slight injury requiring no more than first aid (little or no lost work time)		Moderate – significant injury or illness requiring more than first aid (able to return to same job)	Serious – severe debilitating injury or illness (able to return to work at some point)		Catastrophic – death or permanently disabling injury or illness (unable to return to work)		
33	Severity of injury or illness	Moderate injury or illness			Serious injury or illness		Death / grievous injury of illness		
34	Severity level	Low – other injury or illness		Medium – Injury or illness causing short-term disability		High – Fatality, major injuries or illness causing long-term disability			
35	Consequences (qualitative impact measures)	5: Insignificant – no injuries, low financial loss, negligible environmental impact		4: Minor – First aid treatment, on-site release immediately contained, medium financial loss	3: Moderate – medical treatment required, on-site release contained with outside assistance, high financial loss	2: Major – extensive injuries, loss of production capability, off-site release contained with outside assistance and little detrimental impact, major financial loss		I: Catastrophic – death, toxic release off-site with detrimental effect, huge financial loss	
41	Levels of severity of harm	4: Negligible – does not result in injury, occupational illness, or system or environmental damage		3: Low – Minor injury, minor occupational illness, or minor system or damage		2: Medium – severe injury, severe occupational illness, or major system or environmental damage		1: High – death, system loss, or severe environmental damage	

		Niveaux							
Outils	Gravité du dommage	S1 Égratignures, sans premiers soins	S2 Notion de premier soin, sans arrêt de travail	S3 Arrêt de travail et nécessite plus que le premier soin	S4 Domage irréversible : invalidité légère	S5 Invalidité moyenne, retour au travail mais peut être pas au même poste	S6 Incapacité permanente	S7 Décès	S8 Décès multiples
44	Suggested mishap severity categories	IV Negligible – could result in injury or illness not resulting in a lost work day, loss exceeding \$2K but less than \$10K, or minimal environmental damage not violating law or regulation		III Marginal – could result in injury or occupational illness resulting in one or more lost work days(s),	II Critical – could result in permanent partial disability, injuries or occupational illness that may result in hospitalization of at least three personnel,			I Catastrophic – could result in death, permanent total disability, loss exceeding \$1M, or irreversible severe environmental damage that violates law or regulation.	
45	Hazard severity	VI Negligible – little or no adverse impact on mission capability. First aid or minor medical treatment (accident risk). Slight equipment or system damage, but fully functional and serviceable. Little or no property or environmental damage.		III Marginal – degraded mission capability or unit readiness.	II Critical – significantly (severely) degraded mission capability or unit readiness. Permanent partial disability, temporary total disability exceeding 3 months time (accident risk).			I Catastrophic – loss ability to accomplish the mission or mission failure. Death or permanent total disability (accident risk).	
46	Hazard severity	Category IV – the hazard presents a minimal threat to personnel safety or health, property, national, service or command interests or efficient use of assets.	Category III – the hazard may cause minor injury, illness, property damage, damage to national, service or command interest or degradation to efficient use of assets.		Category II – the hazard may cause severe injury, illness, property damage, damage to national or service interests or degradation to efficient use of assets.			Category I – the hazard may cause death, loss of facility/asset or result in grave damage to national interests.	
53	Sévérité (S)	2 – blessure mineure requérant seulement les premiers soins (<1K\$)		6 – Blessure majeure résultant en cas consignable (>1K\$, <10K\$) 12 – blessure majeure résultant en fatalité, maladie ou blessure avec perte de temps (>10K\$)					
55	Severity of harm	4 – negligible: less than minor injury or occupational illness		3 – marginal : minor injury or occupational illness	2 – critical : severe injury or occupational illness			1 – catastrophic : death	
57	Severity of harm	1 – reversible, first aid		2 – reversible, medical attention	3 – permanent, losing fingers	4 – death, losing an eye or arm			
58	Conséquence	pas de blessure	premiers soins: premiers soins administrés sur place sans perte de temps.	perte de temps: traitement médical hors site ou perte de temps de courte durée (jours)	blessure importante: traumatisme important, perte de temps de longue durée (semaines)		Décès		
66	Hazard severity level	Insignificant : possible minor injury		Marginal : minor injury and/or significant threat to the environment	Critical : single fatality and/or severe injury and/or significant damage to the environment			Catastrophic: fatalities and/or multiple severe injuries and/or major damage to the environment	
69	Severity of	Low : trivial harm with no permanent results	Middle:	High: serious harm with permanent results, death					

Outils	Gravité du dommage	Niveaux									
		S1 Égratignures, sans premiers soins	S2 Notion de premier soin, sans arrêt de travail	S3 Arrêt de travail et nécessite plus que le premier soin	S4 Dommage irréversible : invalidité légère	S5 Invalidité moyenne, retour au travail mais peut être pas au même poste	S6 Incapacité permanente	S7 Décès			
	harm			serious harm with no permanent results							
85	Severity	S4 – on site: potential minor injuries, or irritation		S3 – on site: potential for one or more lost time injuries	S2 – on site: potential for one or more serious injuries (irreversible)	S1 – on site: potential for one or more fatalities					
89	How severe the injury could be (consequence)	Minor: first aid only, no lost time		Major: maiming, significant injury, not permanent	Catastrophic: kills, disables, permanent injury						
94	Severity	Negligible	Minor		Major	Catastrophic					
102	Severity (estimate how serious such an accident)	I Minor: means that the consequences are not very serious	II Significant: means that works has to stop, first aid is really needed	III Disastrous: means that there has been a very serious accident (someone has been scarred for life, blinded or even killed)							
114	Severity of harm	Slight: first aid needed but no time off work or change of duties required		Temporary: injury or ill-health requiring time-off work from which essentially a full recovery normally expected (i.e. no loss of quality of life)	Permanent: disability or health impairment which is normally irreversible, having impact on quality of life		Death: injury or damage to health resulting, within a short period, in the death of operator and/or any other person in vicinity				

Annexe 3: Échelle d'équivalence: probabilité d'occurrence du dommage

		Niveaux										
Outils	Probabilité d'occurrence du dommage	Ph1 Presque impossible de se produire	Ph2 Peu probable mais possible	Ph3 Pourrait se produire mais inattendu	Ph4 Pourrait se produire, attendu	Ph5 Presque certain de se produire	Ph6 Aura lieu au moins une fois	Ph7 Va se produire fréquemment				
48	Qualitative measures of likelihood	E – Rare – Occurs only in exceptional circumstances			D – Unlikely – Could occur but not expected	C – Possible – Could occur	B – Likely – Will probably occur in most circumstances	A – Almost certain – Is expected to occur in most circumstances				
1	Likelihood to cause harm	1: Low – unlikely			2: Medium – possible	3: High – probable						
3	Likelihood of harm	Very unlikely – Less than 1% chance of being experienced by an individual during their working lifetime			Unlikely – Typically experienced once during the working lifetime of an individual	Likely – Typically experienced once every five years by an individual	Very likely – Typically experienced at least once every six months by an individual					
6	Probability or likelihood of harm occurring	Improbable – so unlikely that probability is close to zero	Remote – unlikely, though conceivable		Possible – could occur sometime	Probable – not surprised, will occur several times		Likely / frequent – occurs repeatedly / event only to be expected				
7	Likelihood (chances)	Remote	Improbable	Possible		Probable	Likely					
10	An acceptable annual frequency of each severity category	1x10 ⁻⁵ per year Once every 100,000 years 1x10 ⁻⁴ per year Once every 10,000 years	1x10 ⁻³ per year Once every 1000 years	1x10 ⁻² per year Once every 100 years One in 100 chance each year, Prob 0.01		1x10 ⁻¹ per year Once every ten years One in ten chance each year, Prob 0.1						
24	Probability of occurrence of harm	Remote – so unlikely as to be near zero	Unlikely – not likely to occur		Likely – may occur	Very likely – near certain to occur						
33	Likelihood of occurrence (of injury)	Not likely, but possible			Likely	Very likely						
34	Likelihood level	Low – very seldom or never occurs			Medium – reasonably likely to occur	High – certain or near certain to occur						
35	Likelihood (Qualitative likelihood measures)	E: Rare – occurs only in exceptional circumstances		D: Unlikely – could occur but not expected	C: Possible – could occur	B: Likely – will probably occur in most circumstances	A: Almost certain – is expected to occur in most circumstances					
41	Level of probability of the occurrence of harm	F- Highly improbable – probability cannot be distinguished from zero	E- Improbable – very unlikely to occur in the life cycle	D- Remote – unlikely but may possibly occur in the life cycle	C- Occasional – likely to occur at least once in the life cycle		B- Probable – likely to occur several times in the life cycle	A- Highly probable – likely to occur frequently in the life cycle				

		Niveaux						
Outils	Probabilité d'occurrence du dommage	Ph1 Presque impossible de se produire	Ph2 Peu probable mais possible	Ph3 Pourrait se produire mais inattendu	Ph4 Pourrait se produire, attendu	Ph5 Presque certain de se produire	Ph6 Aura lieu au moins une fois	Ph7 Va se produire fréquemment
44	Suggested mishap probability levels (potential occurrences)	E: Improbable – so unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced, with a probability of occurrence less than 10^{-6} in that life	D: Remote – unlikely but possible to occur in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-3} but greater than 10^{-6} in that life	C: Occasional – likely to occur some time in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-2} but greater than 10^{-3} in that life	B: Probable – will occur several times in the life of an item, with a probability of occurrence less than 10^{-1} but greater than 10^{-2} in that life	A: Frequent – likely to occur often in the life of an item, with a probability of occurrence greater than 10^{-1} in that life		
45	Accident probability Individual soldier, and all soldiers exposed- definitions vary	E: Unlikely – can assume will not occur, but not impossible	D: Seldom – remotely possible, could occur at some time	C: Occasional – occurs sporadically	B: Likely – occurs several times	A: Frequent – occurs very often, continuously experienced		
46	Mishap probability	Sub-category D – unlikely to occur		Sub-category C – may occur in time. Can reasonably be expected to occur some time to an individual item or person or several times to a fleet, inventory or group.	Sub-category B – probably will occur in time. Expected to occur several times to an individual item or person or frequently to a fleet, inventory or group	Sub-category A – likely to occur immediately or within a short period of time. Expected to occur frequently to an individual item or person or continuously to a fleet, inventory or group.		
58	Probabilité de chaque événement dangereux (en supposant que l'événement dangereux ici veut dire dommage)	Peu plausible: très peu probable : aucun membre de l'équipe n'a jamais entendu parler d'un tel événement dans l'industrie.	Improbable : peu probable mais peut exceptionnellement se produire : un membre de l'équipe connaît quelqu'un à qui cet événement est arrivé.	Occasionnel : peut parfois se produire : l'événement est arrivé à un membre de l'équipe au cours des deux dernières années.	Probable : peut se produire souvent : l'événement arrive à tous les membres de l'équipe au moins une fois par année.	Fréquent : occurrence régulière ou continue : l'événement arrive souvent à tous les membres de l'équipe lorsqu'ils exécutent cette activité.		

		Niveaux						
Outils	Probabilité d'occurrence du dommage	Ph1 Presque impossible de se produire	Ph2 Peu probable mais possible	Ph3 Pourrait se produire mais inattendu	Ph4 Pourrait se produire, attendu	Ph5 Presque certain de se produire	Ph6 Aura lieu au moins une fois	Ph7 Va se produire fréquemment
66	Frequency occurrence of hazardous events	Incredible: extremely unlikely to occur. It can be assumed that the hazard may not occur.	Improbable: unlikely to occur but possible. It can be assumed that the hazard may exceptionally occur.	Remote: likely to occur sometime in the system life cycle. The hazard can reasonably be expected to occur.	Occasional: likely to occur several times. The hazard can be expected to occur several times	Probable: will occur several times. The hazard can be expected to occur often.	Frequent: likely to occur frequently. The hazard will be continually experienced.	
85	Probability of harm (frequency classes)	P4 - not plausible (less than once per 10 000 years)	P3 – Never happened, but is thinkable (approx. Once in 1000 years)	P2 – Almost happened, near miss (approx. Once in 100 years)	P1 – happened once (approx. once in 10 years)	P0 – happened a couple of times (once per year or more often)		
89	Likelihood of the hazard causing an injury (Probability)	Very unlikely: could happen but probably never will	Unlikely: could happen but rare	Likely: could happen occasionally	Very likely: could happen frequently			
94	Frequency of occurrence	Improbable	Remote	Occasional	Probable	Frequent		
102	Likelihood of an accident happening	I: Unlikely: means that there is a very small chance of the hazard causing an accident	2: Probable: means that there is a good chance that there is an accident	3: Certain: means that an accident is almost certain				
114	Probability occurrence of harm	Remote: incidents not foreseen	Unlikely: incidents not known but feasible	Likely: incidents have occurred	Very likely: incidents almost inevitable			

Annexe 4: Échelle d'équivalence: fréquence d'exposition

		Niveaux	Exf1 Fréquence inférieure à une fois par an	Exf2 Fréquence annuelle	Exf3 Fréquence mensuelle	Exf4 Fréquence hebdomadaire	Exf5 Fréquence par jour, 1 à 2 fois par jour	Exf6 Entre 2 fois par jour à 1 fois par 2 heures	Exf7 Entre 1 fois par 2 heures et 1 fois par heure	Exf8 Plusieurs fois par heure						
Outils	Fréquence d'exposition															
49	Exposure	E1 : Infrequent exposure (Typically exposure to the hazard less than once per day or shift)								E2 : Frequent exposure (Typically exposure to the hazard more than once per hour)						
67	Average interval between frequency of exposure its duration (Fr)	I- Interval between exposure is more than a year	2- Interval between exposure is more than two weeks but less than or equal to a year			3- Interval between exposure is more than a day but less than or equal to two weeks;	4- Interval between exposure is more than an hour but less than or equal to a day. Where the duration is shorter than 10 min, the value may be decreased to the next level.			5- Interval less than or equal to an hour. This value is not to be decreased at any time.						
91	Fréquence de l'exposition au phénomène dangereux	F1: Twice or less by work shift or less than 15 min cumulated exposure by work shift								F2: More than twice by work shift or more than 15 min cumulated exposure by work shift						
19	Frequency of exposure of persons to the hazard	1 : seldom to quite often								2 : frequent to continuous						
53	Potentiel relié à la fréquence d'activité (PFA)	1 – hebdomadaire weekly				2 – deux fois par jour au maximum max of twice a day		3 – toutes les deux heures ou plus every two hours or more								
55	Frequency of exposure	4 – improbable : so unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced	3 – remote : yearly or at least once during the life of the machine or system	2 – occasionnal : monthly			1 – frequent : daily									
57	Frequency	1 – less	2 – yearly	3 – monthly	4 – weekly	5 – daily (an operator is exposed to a hazard daily but spending less than one percent of the daily operating time in that area ~ one percent equals 5 min or 8 hour work day)										
69	Exposure to harm	Low : seldom or very short exposure to harm					Middle: often or short to longer exposure to harm									
114	Frequency of exposure	Rare: exposure not anticipated during normal use	Occasional : exposure possible during normal use				Frequent: exposure at least once a day		Continuous: exposure every use or all the time during use							

Annexe 5: Échelle d'équivalence: durée d'exposition

Outils	Durée d'exposition	Niveaux				
		Exd1 <1/20 du temps de travail	Exd2 1/10 du temps de travail (45 mins/8h)	Exd3 1/5 du temps de travail (90 mins/8h)	Exd4 Moitié du temps de travail 4h/8h	Exd5 Continu au temps de travail
62	Indice de fréquence et durée de l'exposition aux phénomènes dangereux (e)	- e = 1 : 2 heures/ semaine (1 jour/mois) 1/20 time 23 mins per shift or less	- e = 2 : 4 heures/ semaine (1/2 jour/semaine) 1/10 time 45 mins per shift	e = 3 : 8 heures/ semaine (1 jour/semaine) 1/5 time 90mins per shift	- e = 4 : 20 heures/ semaine (mi-temps) Half the time 4 hours per shift	- e = 5 : 40 heures/ semaine (Temps complet)
69	Duration to harm	Low : seldom or very short exposure to harm	Middle: often or short to longer exposure to harm			
91	Duration of exposure to hazard (F)	F1: Twice or less by work shift or less than 15 min cumulated exposure by work shift	F2: More than twice by work shift or more than 15 min cumulated exposure by work shift			
17	Exposure to hazard (% of time based on 24hr day)	Less than or equal to 1%	More than 1% to 25%			More than 25% to 100% Note: 25% is an 8 hour shift of continuous exposure to hazard
19	Duration of exposure of persons to the hazard	Seldom to quite often				Frequent to continuous

Annexe 6 : Échelle d'équivalence : possibilité d'évitement

Outils	Possibilité d'évitement	Niveaux					
		A1 Facilement	A2 Probable	A3 Possible	A4 Possible sous certaines conditions	A5 Improbable	A6 Impossible
49	Avoidance	A1: Likely (Can move out of way; or sufficient warning/reaction time; or robot speed less than 250 mm/sec)				A2: Not likely (Cannot move out of way; or inadequate reaction time; or robot speed greater than 250 mm/sec)	
62	Indice de possibilité d'évitement ou de limitation du dommage (L)	L = 1 : si - danger perceptible et instruction périodique et bonne qualification du personnel			L = 3 : si 1 à 2 critères du niveau 1 ne sont pas satisfaits		L = 5 : si - danger non perceptible et pas d'instruction et qualification insuffisante du personnel
67	Possibility to avoid or limit harm (Av)	I Likely. E.g. it is likely to avoid contact with moving parts behind an interlocked guard, in most cases, should the interlocking fail where the movements continue.			3 Possible. E.g. it is possible to avoid an entanglement hazard where the speed is slow.		5 Impossible. E.g. it is impossible to avoid an inhalation of harmful gas hazard where there are no warning signs.
91	Possibility of avoidance or reduction of the harm (A)	A1: Possible under some conditions If parts move at a speed less than 0,25 m/s and the exposed worker is familiar with the risks and with the indications of a hazardous situation or impending hazardous event ; depending of particular conditions (temperature, noise, ergonomic, etc.)					A2 : Impossible
19	Avoidance – the technical or human possibilities to avoid or limit the harm	1 : Possible under specific conditions				2: Scarcely possible	
57	Avoidance (Av)	1 – obvious	2 – likely	3 – possible		4 – rarely	5 – impossible
69	Harm avoidance	Avoidable : harm can be normally avoided				Not avoidable: harm avoidance is seldom or not possible	
114	Possibility to avoid or limit harm	Possible: for all exposed people		Possible of trained: possible for people trained to recognise warning and how best to react and warning allows sufficient time	Difficult: possible but warning may not be obvious or time is limited	Impossible: no warning and/or not enough time to react	

Annexe 7: Échelle d'équivalence: probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

Outils	Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux	Niveaux				
		Pe1 Négligeable	Pe2 Rarement	Pe3 Possible	Pe4 Probable	Pe5 Courant/fréquent
62	Indice de probabilité d'occurrence d'un événement dangereux (po)	- po = 1 : événement difficilement imaginable (mesures conformes à l'état de la technique)	- po = 2 : événement imaginable, mais inhabituel (mesures prises)	- po = 3 : l'événement est possible (mesures partiellement prises, des insuffisances évidentes)	- po = 4 : on peut s'attendre à ce que l'événement se produise (il y a un début de mesures)	- po = 5 : il faut s'attendre à ce que l'événement se produise (pas de mesures existantes)
67	Probability of occurrence of a hazard event (Pr)	1: Negligible. E.g. this kind of component never fails so a hazardous event occurs. No possibility of human mistakes.	2: Rarely. E.g. it is unlikely this kind of component fails so a hazardous event occurs. Human mistakes are unlikely to occur.	3: Possible. E.g. this kind of component may fail so a hazardous event occurs. Human mistakes are possible to occur.	4: Likely. E.g. this kind of component will probably fail so a hazardous event occurs. Human mistakes are likely to occur.	5: Very high. E.g. this kind of component is not made for this application. It will fail so a hazardous event occurs. Human behaviour is such that the likelihood of mistakes is very high.
91	Probability of occurrence of the hazardous event (O)	O1: Mature technology, proven and recognised in safety application; robustness.		O2: Technical failure observed in last two years; inappropriate human action by a well trained person, aware of the risks, with more than six months experience on the work station	O3: Technical failure regularly observed (every six months or less); inappropriate human action by an untrained person, with less than six months experience on the workstation; similar accident observed in the plant since ten years.	
17	The chance a hazard is likely to occur (probability level)	Extremely remote – 1 in a million Improbable – 1 in 100 000 Prob 1.00001	Remote – 1 in 10 000 Prob 0.0001	Occasional – 1 in 1 000 Prob 0.001	Probable – 1 in 100 Prob 0.01	Frequent – 1 in 10 Prob 0.1
19	Probability of occurrence of an event which can cause harm	1: Low – so unlikely that it can be assumed occurrence may not be experienced		2: Medium – likely to occur sometime in the life of an item		3: High – likely to occur frequently
53	Potentiel relié à l'activité	1 – faible		2 – moyen		3 – haut
57	Probability occurrence of hazardous event	1 – negligible	2 – rarely	3 – possible	4 – likeiy	5 – Common
69	Probability/likelihood of occurrence	Low: harm will occur very seldom		Middle: harm is possible but not necessary	High: harm is mostly consequence of exposure	