

2011

Analyse expérimentale des outils d'estimation du risque associé aux machines industrielles

Yuvin Chinniah
Polytechnique Montréal

François Gauthier
Université du Québec à Trois-Rivières

Serge Lambert
Université du Québec à Trois-Rivières

Florence Moulet
Université du Québec à Trois-Rivières

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Chinniah, Y., Gauthier, F., Lambert, S. et Moulet, F. (2011). *Analyse expérimentale des outils d'estimation du risque associé aux machines industrielles* (Rapport n° R-697). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

É

Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

RAPPORT R-697



Analyse expérimentale des outils d'estimation du risque associé aux machines industrielles

*Yuin Chinniah
François Gauthier
Serge Lambert
Florence Moulet*



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

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

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

Pour en savoir plus

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

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2011
ISBN : 978-2-89631-557-4 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
juillet 2011



Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

■ RAPPORT R-697

Analyse expérimentale des outils d'estimation du risque associé aux machines industrielles

Avis de non-responsabilité

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

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

*Yuvin Chinniah,
École Polytechnique*

*François Gauthier, Serge Lambert et Florence Moulet,
Université du Québec à Trois-Rivières*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.
Cette publication a été traduite, seule la version originale (R-684) fait foi.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

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

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Nicola Stacey, Nicola Healey et Simon Rice du Health and Safety Laboratory (HSL), Harper Hill, Buxton, Royaume-Uni. La présente étude a été réalisée dans le cadre d'un accord de coopération entre l'IRSST et le HSL portant précisément sur l'essai théorique d'outils servant à l'appréciation du risque en lien avec les machines industrielles. Les auteurs tiennent également à exprimer leur gratitude à l'IRSST et au HSL pour avoir financé le projet de recherche et pour leur hospitalité lors des rencontres tenues en alternance à l'IRSST, à Montréal, et au HSL, à Harper Hill.

AVERTISSEMENT

Ce document est une traduction libre du rapport de recherche IRSST R-684 intitulé *Experimental Analysis of Tools Used for Estimating Risk Associated with Industrial Machines*. L'étude a été menée en anglais pour permettre une collaboration avec le Health and Safety Laboratory (HSL) et pour conserver la terminologie originale et les définitions des paramètres des outils d'estimation du risque étudiés. Par conséquent, cette traduction pourrait ne pas toujours bien refléter la nature des résultats obtenus.

RÉSUMÉ

Dans cette étude, 31 outils qualitatifs servant à estimer le risque en lien avec les machines industrielles et conformes aux directives de l'ISO 14121-1:2007 ont été analysés i) en comparant leurs paramètres d'estimation du risque, et ii) en utilisant les différents outils pour estimer les risques inhérents à 20 situations dangereuses (scénarios de risque). L'étude visait à procéder à une comparaison théorique de la capacité des outils à estimer le risque et à déterminer la mesure dans laquelle ils estiment le risque de façon uniforme. Les niveaux de risque obtenus par différents utilisateurs à l'aide des différents outils dans le cadre de scénarios de risque identiques devraient idéalement être plus ou moins comparables. Les niveaux de risque obtenus par les mêmes utilisateurs à l'aide des différents outils dans le cadre de scénarios de risque identiques à divers points dans le temps devraient aussi afficher certaines similitudes. En conséquence, toute variabilité importante des estimations de risque peut être attribuée à des failles ou des biais des outils, lesquels peuvent aussi bien dépendre des paramètres que de l'architecture des outils. De manière à pouvoir comparer des outils utilisant différents paramètres, de même que différents niveaux ou seuils à l'égard de ces paramètres, il fallait définir des échelles d'équivalence quant aux différents paramètres d'estimation du risque. L'utilisation de critères courants a démontré qu'une telle comparaison de différents outils d'estimation du risque était possible. Le présent rapport décrit donc le mode d'établissement des échelles d'équivalence, et présente une analyse des divers paramètres en usage dans les outils. Des directives sur la façon de définir les paramètres des outils d'estimation du risque de sorte à faciliter les évaluations et à les rendre indépendantes des outils et des utilisateurs (afin d'assurer la répétabilité des résultats d'estimation du risque) sont également fournies. De plus, les écarts observés quant aux résultats d'estimation du risque fournis par différents outils dans une même situation en présence de machines dangereuses ont été analysés en examinant i) l'influence des types de paramètres d'estimation du risque et des méthodes de construction des outils, ii) l'influence du nombre de niveaux propre à chaque paramètre, et iii) l'influence du nombre de niveaux de risque sur les résultats. Les 31 outils d'estimation du risque sont ainsi comparés dans le cadre de 20 situations dangereuses. Les résultats obtenus révèlent des écarts significatifs entre les données d'estimation du risque fournies par différents outils dans le cadre de situations dangereuses identiques, ce qui veut dire que le risque estimé est fonction de l'outil. Le domaine d'application d'un outil et son architecture, ou sa construction sont des facteurs qui semblent contribuer à la variabilité des résultats. Les outils conçus selon les deux configurations proposées dans l'ISO 14121-1:2007 produisent des niveaux de risque moyen semblables, mais dans un cas comme dans l'autre, certains outils sous-estiment les risques liés aux situations dangereuses alors que d'autres les surestiment. Il en ressort qu'un outil simple n'utilisant que deux paramètres peut s'avérer aussi efficace qu'un outil plus complexe utilisant quatre paramètres. On a également pu constater que les 31 outils pouvaient se subdiviser en 3 groupes, 9 d'entre eux fournissant des estimations de risque faibles, 8 autres, des estimations de risque intermédiaires, et 14 autres, des estimations de risque élevées. En outre, certains outils ne conviennent pas à l'appréciation du risque en lien avec les machines, et ce, même si leur domaine d'application laisse souvent penser le contraire. Enfin, les observations relatives au comportement des différents outils ont amené les auteurs à proposer un ensemble de règles de construction visant à remédier à la plupart des problèmes responsables de la variabilité des estimations de risque. Ces recommandations pourraient éventuellement guider les utilisateurs d'outils d'estimation du risque au moment de choisir, de concevoir ou d'utiliser de tels outils. De futurs travaux porteront sur la validation des outils les plus prometteurs auprès d'un vaste échantillon d'utilisateurs d'industries variées.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1

1.1 Formation sur l'appréciation du risque donnée par l'IRSST 3

1.2 Estimation du risque – Divers outils et méthodes 3

1.3 Paramètres d'estimation du risque dans la norme ISO 14121-1 6

2. OBJECTIFS 7

3. MÉTHODOLOGIE 9

3.1 Sélection d'un échantillon d'outils d'estimation du risque..... 9

3.2 Établissement et analyse d'échelles d'équivalence à l'égard des paramètres d'estimation du risque 10

3.3 Établissement d'échelles d'équivalence à l'égard des niveaux de risque 11

3.4 Application des 31 outils d'estimation du risque à 20 situations dangereuses (scénarios de risque) 12

 3.4.1 Sélection et élaboration des scénarios..... 12

 3.4.2 Estimation du risque inhérent aux scénarios..... 13

 3.4.3 Analyse des niveaux de risque estimés 14

4. RÉSULTATS ET ANALYSE 15

4.1 Échantillon de 31 outils d'estimation du risque 15

4.2 Échelle d'équivalence relative à la gravité du dommage..... 16

 4.2.1 Terminologie..... 21

 4.2.2 Construction de l'échelle d'équivalence relative à la gravité du dommage..... 22

 4.2.3 Échelle d'équivalence générale des outils relativement à la gravité du dommage 22

 4.2.4 Granularité et nombre de niveaux..... 23

 4.2.5 Niveaux exprimés sous forme de mot unique..... 25

 4.2.6 Définitions incohérentes 25

 4.2.7 Mélange de facteurs et de notions..... 26

4.3 Échelle d'équivalence relative à la probabilité du dommage..... 26

 4.3.1 Terminologie..... 31

 4.3.2 Écarts de gradation..... 31

 4.3.3 Nombre de niveaux..... 31

 4.3.4 Niveaux exprimés sous forme de mot unique..... 32

 4.3.5 Définitions qualitatives et quantitatives..... 32

 4.3.6 Outils combinant deux niveaux 32

4.4	Échelle d'équivalence relative à la fréquence d'exposition	32
4.4.1	Terminologie.....	35
4.4.2	Nombre de niveaux.....	35
4.4.3	Niveaux exprimés sous forme de mot unique et définitions vagues.....	35
4.5	Échelle d'équivalence relative à la durée d'exposition	36
4.5.1	Terminologie.....	37
4.5.2	Nombre de niveaux.....	37
4.5.3	Définitions vagues relatives aux niveaux du paramètre de durée d'exposition	37
4.6	Échelle d'équivalence relative à la possibilité d'évitement.....	37
4.6.1	Terminologie.....	39
4.6.2	Nombre de niveaux.....	39
4.6.3	Définitions vagues relatives aux niveaux du paramètre d'évitement.....	40
4.6.4	Niveaux exprimés sous forme de mot unique.....	40
4.7	Échelle d'équivalence relative à la probabilité de l'événement dangereux	40
4.7.1	Terminologie.....	42
4.7.2	Nombre de niveaux.....	42
4.7.3	Niveaux exprimés sous forme de mot unique et définitions vagues.....	43
4.8	Résultats de l'estimation du risque dans les différentes situations dangereuses.....	43
4.8.1	Analyse des scénarios	43
4.8.2	Analyse des outils	46
4.8.3	Incidence des configurations d'outil	49
4.8.4	Incidence du nombre de niveaux de chaque paramètre d'estimation du risque	51
4.8.5	Incidence du nombre de niveaux de risque.....	52
5.	CONSTATATIONS.....	55
5.1	Constatations relatives aux échelles d'équivalence.....	55
5.1.1	Définition des paramètres d'estimation du risque utilisés par les différents outils.....	55
5.1.2	Nombre de seuils de chaque paramètre	56
5.1.3	Définition des seuils de chaque paramètre.....	56
5.1.4	Cohérence des termes employés pour définir les seuils.....	57
5.1.5	Écarts entre les seuils.....	57
5.1.6	Définition de l'intervalle d'exposition.....	58
5.2	Constatations relatives aux estimations du risque.....	58
5.2.1	Distribution des niveaux de risque obtenus	58
5.2.2	Incidence des configurations d'outil	59
5.2.3	Incidence du nombre de niveaux de chaque paramètre d'estimation du risque	61
5.2.4	Incidence du nombre et de la distribution des niveaux de risque	61
5.2.5	Calibrage des outils.....	62
5.2.6	Proposition de règles de construction	63
6.	CONCLUSION.....	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Échelles de risque équivalentes pour les outils 48, 62 et 91.....	11
Tableau 2 : Évaluation du scénario R eu égard aux outils 48, 62 et 91.....	14
Tableau 3 : Nombre de seuils propres à chaque paramètre pour l'ensemble des outils sélectionnés.....	16
Tableau 4 : Échelle d'équivalence relative à la gravité du dommage.....	17
Tableau 5 : Échelle d'équivalence relative à la probabilité du dommage.....	26
Tableau 6 : Échelle d'équivalence relative à la fréquence d'exposition.....	33
Tableau 7 : Échelle d'équivalence relative à la durée d'exposition	36
Tableau 8 : Échelle d'équivalence relative à la possibilité d'évitement.....	38
Tableau 9 : Échelle d'équivalence relative à la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux	40
Tableau 10 : Niveaux de risque des scénarios	44
Tableau 11 : Fréquence du niveau de risque le plus faible et le plus élevé par scénario.....	45
Tableau 12 : Scénarios par catégorie	45
Tableau 13 : Fréquence du niveau de risque le plus faible et le plus élevé par outil	48
Tableau 14 : Niveaux de risque moyen des scénarios pour chaque configuration d'outil.....	50
Tableau 15 : Résumé des résultats.....	65

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Gestion simplifiée de l'appréciation du risque fondée sur la norme ISO 12100-1.	2
Figure 2 : Distribution par famille des outils d'estimation du risque	4
Figure 3 : Exemple de situation dangereuse	13
Figure 4 : Diagramme à surfaces du risque par outil.....	47
Figure 5 : Nombre de niveaux de risque et risque moyen (selon le nombre d'outils) ...	52
Figure 6 : Nombre de niveaux de risque et risque moyen (selon le nombre d'outils) ...	53
Figure 7 : Exemple d'outil d'estimation du risque à matrice bidimensionnelle.....	62

1. INTRODUCTION

L'appréciation du risque en lien avec la machinerie consiste en une série d'opérations visant à identifier les dangers que peuvent présenter les machines, et elle comporte deux volets, à savoir l'analyse du risque et l'évaluation du risque, selon les termes de la norme ISO 14121-1:2007. L'analyse du risque se fait en trois étapes qui consistent à déterminer les limites de la machine, à identifier les phénomènes dangereux et à estimer le risque afférent.

Pour déterminer les limites d'une machine, il faut prendre en compte toutes les phases de son cycle de vie – conception, fabrication, transport, installation, mise en service, utilisation, démarrage, arrêt, réglage ou changement de processus, nettoyage et ajustements. De plus, comme l'explique l'ISO 14121-1:2007, il importe de ne pas se restreindre à l'utilisation prévue de la machine ; il faut aussi considérer les conséquences d'un mauvais usage ou d'un dysfonctionnement raisonnablement prévisible, de même que le niveau anticipé de formation et d'expérience des opérateurs.

À l'étape de l'identification des dangers que peut présenter une machine, il convient de prendre en compte différentes formes de phénomènes dangereux. En général, les phénomènes dangereux reliés aux machines tendent à être de deux ordres, soit mécanique ou électrique. Les phénomènes dangereux mécaniques comprennent ceux qui comportent des risques d'écrasement, de cisaillement, de coupure, d'enchevêtrement, d'emprisonnement, de choc, d'abrasion et de projection de fluides sous haute pression. Ces phénomènes peuvent être le fait de différentes parties d'une machine, selon leur forme, leur mouvement relatif, leur masse et leur stabilité, leur masse et leur vitesse, ou encore leur résistance. Un travailleur exposé à des phénomènes dangereux mécaniques peut subir des blessures en étant :

- emprisonné entre la machine et une structure fixe ;
- atteint par des matières éjectées par la machine ;
- atteint par une pièce éjectée par la machine ;
- atteint par des fluides projetés sous haute pression ;
- enchevêtré dans du matériel en mouvement, ou en contact avec un tel matériel ;
- happé par la machine ou en contact avec elle.

Un travailleur peut aussi subir des blessures en raison de phénomènes dangereux électriques, notamment en étant en contact avec des parties actives ou devenues actives à la suite d'une défaillance, à l'approche de parties actives sous haute tension ou en présence d'un rayonnement thermique. Les phénomènes dangereux électriques comportent des risques d'électrisation (blessures), d'électrocution (décès), de crise cardiaque et de brûlures. Les phénomènes dangereux thermiques ou engendrés par le bruit, par les vibrations, par les rayonnements ou par des substances biologiques ou des produits chimiques dangereux sont d'autres exemples de dangers qui doivent être pris en compte à cette importante étape de l'appréciation du risque.

Au terme de la phase d'identification des phénomènes dangereux, une estimation du risque est effectuée à l'égard de chaque situation ou phénomène dangereux identifié. Le risque se définit comme une combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage. Selon l'ISO 14121-1:2007, la probabilité d'occurrence d'un dommage peut être estimée en prenant en compte la fréquence et la durée d'exposition au phénomène dangereux, la probabilité

d'occurrence d'un événement dangereux et les possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage. Une combinaison de ces quatre paramètres sera dès lors utilisée pour estimer les valeurs de risque susceptibles de servir à des fins de comparaison. À la dernière étape du processus d'appréciation, l'évaluation du risque permet de prendre des décisions concernant la sécurité de la machine.

Des outils d'estimation du risque sont proposés par des organismes actifs dans le domaine de la sécurité des machines industrielles, et certaines entreprises ont élaboré leurs propres méthodes et leurs propres outils d'analyse. Tous ces processus reposent sur les mêmes principes, illustrés à la Figure 1 et dérivés de l'ISO 12100-1:2003, qui découpe la phase d'appréciation du risque en deux étapes : l'analyse du risque et l'évaluation du risque. La Figure 1 présente une version simplifiée du modèle dérivé de l'ISO 12100-1:2003 et utilisé pour schématiser un processus d'appréciation et de réduction du risque en lien avec la machine.

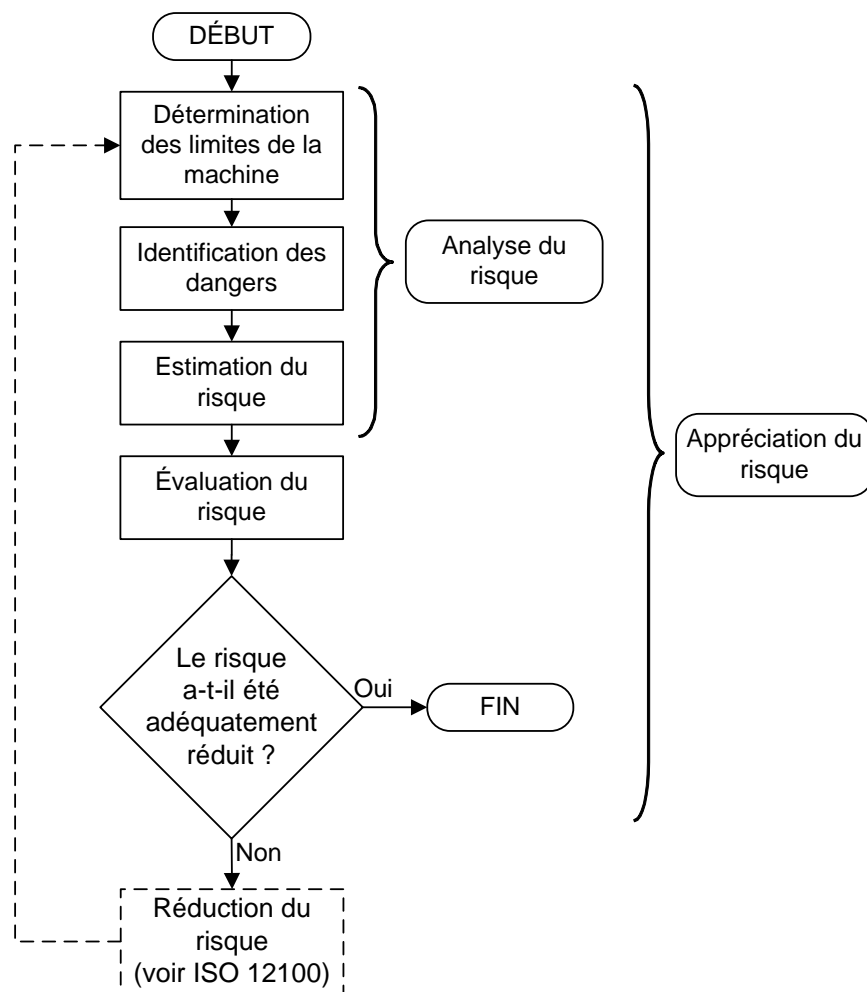


Figure 1 : Gestion simplifiée de l'appréciation du risque fondée sur la norme ISO 12100-1.

1.1 Formation sur l'appréciation du risque donnée par l'IRSST

Afin de réduire les risques à l'origine des accidents en lien avec les machines, ces dernières doivent être conçues ou modifiées de manière à intégrer des mesures de réduction du risque. Faute de procéder à une appréciation du risque, il s'avère très difficile de prendre des décisions optimales en ce qui concerne les mesures de réduction du risque à appliquer aux machines. Des séances de formation sur l'appréciation du risque de la machine ont été élaborées et offertes par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) à des spécialistes de la santé et de la sécurité au travail (SST) du Québec. Un projet particulier (Paques et coll., 2005) a permis de former des intermédiaires et des formateurs en SST qui ont à leur tour présenté des stratégies d'appréciation et de réduction du risque de la machine aux travailleurs et aux cadres de diverses entreprises. Plus de 560 personnes ont ainsi pris part à 16 séances de sensibilisation. Les participants aux séances de formation sur l'appréciation du risque ont appliqué divers aspects de leur apprentissage à leur lieu de travail ou à des situations précises dans différentes industries (Lane et coll., 2003). Par ailleurs, plusieurs questions ont été soulevées au cours de ces séances de formation, et il en est notamment ressorti que les besoins de diverses entreprises – surtout petites et moyennes (PME) – peuvent considérablement varier, de sorte qu'une méthode ou un outil fonctionnant bien dans une usine ne satisfait pas nécessairement aux exigences d'une autre. De plus, il est probable que la diversité des outils proposés à l'étape de l'estimation du risque, ainsi qu'en a fait état une étude antérieure (Paques et coll., 2005a ; Paques et Gauthier, 2007), est en partie attribuable aux besoins variés des entreprises.

Enfin, les entreprises disposent de peu de directives précises concernant l'appréciation du risque de la machine. Seules quelques grandes sociétés ont affecté les ressources nécessaires à l'élaboration de méthodes systématiques d'analyse des risques en lien avec des machines dangereuses précises, et l'accès à ces outils reste difficile dans la mesure où ils sont souvent considérés comme des éléments essentiels de la stratégie de gestion interne de l'entreprise, auquel cas ils sont tenus pour confidentiels. Confrontés à un large éventail d'outils d'appréciation du risque, les spécialistes en SST qui désirent apprécier le risque de machines dangereuses sont mal équipés pour choisir un ou plusieurs de ces outils et pour appliquer celui ou ceux qui sont à même de donner des résultats utiles avec un minimum d'effort. Et les PME sont elles-mêmes mal équipées pour résoudre ce problème, puisque peu de ressources – sinon aucunes – y sont mobilisées en ce sens.

1.2 Estimation du risque – Divers outils et méthodes

Compte tenu de la diversité des méthodes et des outils d'estimation du risque en lien avec les machines industrielles et des résultats divergents qu'ils fournissent parfois, un programme thématique regroupant plusieurs projets de recherche a été entrepris afin d'analyser en profondeur les caractéristiques des outils proposés dans la littérature ou en usage dans l'industrie (Paques et Gauthier, 2006). Une première étude visant à recueillir des données sur les outils d'estimation et d'évaluation du risque existants en lien avec les machines industrielles a été réalisée (Paques et coll., 2005 ; Paques et Gauthier, 2006).

L'objectif en était d'analyser la documentation disponible sur l'appréciation du risque de manière à pouvoir catégoriser les outils. Plus précisément, il s'agissait de déterminer les spécificités de chaque méthode et outil sous l'angle de l'estimation du risque pour ensuite les classer en groupes ou en familles. Dans ce contexte, 108 outils d'estimation du risque ont été répertoriés. Ils ont ensuite été classés en fonction de nombreux critères, inclusion faite des moyens utilisés pour estimer le risque. Les familles d'outils d'estimation du risque sont présentées à la Figure 2 et se définissent comme suit :

- matrices bidimensionnelles (47,2 %) ;
- matrices multidimensionnelles (6,5 %) ;
- graphiques de risque (10,2 %) ;
- méthodes fondées sur des opérations numériques (14,8 %) ;
- méthodes graphiques (nomographiques) (2,8 %) ;
- méthodes hybrides faisant appel à diverses approches (18,5 %).

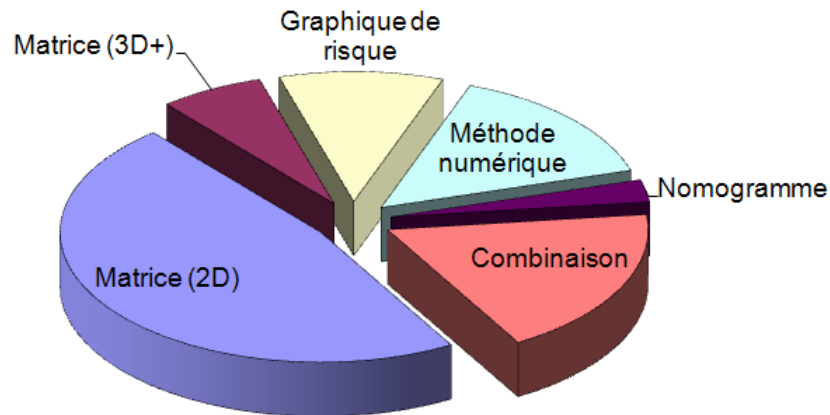


Figure 2 : Distribution par famille des outils d'estimation du risque

L'aspect le plus notable des résultats de cette première étude tient à leur diversité, et ce, sur tous les plans : diversité quant à la nature des méthodes et outils d'estimation du risque, quant à la façon de décrire et de définir les paramètres, quant au nombre de paramètres utilisés, quant aux façons de calculer, de quantifier et de qualifier le risque, quant à la catégorisation ou à l'évaluation des résultats finaux, etc. La variabilité du nombre de paramètres, des types de paramètres, du nombre de seuils (niveaux) et des définitions de paramètres contribuaient grandement à la diversité des outils d'estimation du risque répertoriés.

L'objectif premier des utilisateurs d'outils d'estimation du risque consiste à classer différentes situations dangereuses (scénarios de risque) suivant les indices de risque qu'elles présentent afin d'identifier les risques intolérables (inacceptables) et de prioriser leurs interventions. Or, cet objectif ne peut être atteint si l'outil attribue à tous les scénarios le même niveau de risque (p. ex., risque modéré ou élevé). Les recherches demeurent insuffisantes en ce qui a trait à la compréhension et à l'évaluation des outils d'estimation du risque dans le domaine de la sécurité

des machines, de même qu'à l'identification des variables susceptibles d'influencer une estimation adéquate du risque (Etherton, 2007 ; Lamy et coll., 2009). À titre d'exemple, Abrahamsson (2002) a tenté d'analyser divers outils d'estimation du risque dans différents contextes, et plus particulièrement celui de l'exposition professionnelle à des substances dangereuses. Ses recherches portaient exclusivement sur l'analyse des diverses formes d'incertitude liées aux outils. Les trois principaux groupes d'incertitude étaient i) l'incertitude relative aux paramètres (les valeurs des paramètres n'étant pas connues de façon exacte), ii) l'incertitude relative aux modèles (tout modèle, conceptuel ou mathématique, étant une simplification de la réalité qu'il est appelé à représenter), et iii) l'incertitude relative à l'exhaustivité (tous les facteurs de risque n'étant pas pris en compte dans les modèles quantitatifs d'analyse du risque). Abrahamsson n'a pas analysé d'autres variables susceptibles de moduler une estimation juste du risque, notamment les variables liées à une formation préalable ou aux caractéristiques de la personne qui effectue l'analyse du risque. Une autre étude pertinente à ce problème a été réalisée par Wallstein et coll. (1986), et a révélé que « *les probabilités exprimées sous forme non numérique sont assorties de vagues incertitudes* » et qu'aucune définition verbale d'une probabilité n'est fiable.

Les séances de formation sur l'appréciation du risque ont en outre révélé l'existence de différences dans les résultats d'un exercice mené sur une même machine par différents groupes de personnes appelées à estimer le risque lié à certaines tâches ou activités (Paques, 2005d). Une certaine variabilité des résultats peut être tenue pour « *naturelle* », et donc tolérable, mais une trop grande dispersion peut éventuellement donner lieu à des mesures de réduction du risque inappropriées (Parry, 1999). Dans différents pays européens, des spécialistes de l'estimation du risque soulignent que : « *Les méthodes utilisées dans les différents pays européens pour apprécier le risque d'une machine, lorsque de telles méthodes existent, peuvent donner des résultats différents, voire contradictoires. Dans certains cas, ils peuvent même dicter différents niveaux de sécurité à l'égard d'une machine donnée.* » (Charpentier, 2003). Abrahamsson mentionne par ailleurs que d'éventuels utilisateurs perçoivent les outils d'estimation du risque comme étant peu crédibles ou carrément inutilisables (Abrahamsson, 2002).

Ce deuxième projet du programme thématique porte principalement sur l'étape d'estimation du risque en lien avec les machines industrielles. Il aborde les sources d'incertitude relevant de « *l'incertitude relative aux modèles* », telle que définie par Abrahamsson (2000) ou Parry (1998), par opposition aux deux autres formes d'incertitude, à savoir « *l'incertitude relative aux paramètres* » et « *l'incertitude relative à l'exhaustivité* », qui seront traitées dans le cadre des projets subséquents du programme thématique.

La norme ISO 14121-1 définit le risque comme une combinaison de quatre paramètres. Chacun des paramètres utilisés aux fins d'estimation du risque peut être considéré comme un paramètre de mesure. La classification des quatre niveaux de mesure proposée par Stevens (1946) peut dès lors s'appliquer. Le niveau de mesure d'une variable décrit la nature de l'information contenue dans les nombres (ou les mots) assignés aux objets. Les quatre niveaux de mesure reconnus sont i) la mesure nominale, ii) la mesure ordinale, iii) la mesure d'intervalle et iv) la mesure de rapport. Cette classification est très souvent reprise par d'autres (Trochim, 2005a), et ce, malgré les limites de telles échelles utilisées dans les sciences sociales (Marradi, 1990 ; Velleman et Wilkinson, 1993). Cela dit, puisqu'un des objectifs du processus d'estimation du risque consiste à

catégoriser le risque, les paramètres utilisés pour estimer le risque doivent l'être sous forme de mesure ordinale, ce qui peut expliquer que la plupart des outils d'estimation du risque existants font usage d'échelles voisines de l'échelle de Likert (Trochim, 2005a). Par exemple, l'outil 1 (voir section 4) a deux paramètres : la gravité du dommage et la probabilité de ce dommage. Le paramètre de gravité du dommage a trois niveaux allant de 1 à 3 en ordre croissant de gravité selon les descriptions suivantes :

1. léger – moins de trois jours d'arrêt de travail ;
2. grave – plus de trois jours d'arrêt de travail ;
3. majeur – décès ou blessure grave.

Néanmoins, certains paramètres peuvent aussi prendre la forme d'intervalles ou de rapports.

1.3 Paramètres d'estimation du risque dans la norme ISO 14121-1

Selon l'ISO 14121-1, « *le risque associé à une situation dangereuse particulière est dépendant d'une combinaison des éléments suivants : a) la gravité d'un dommage et b) la probabilité d'occurrence de ce dommage, qui est fonction de 1) l'exposition de la ou des personnes au phénomène dangereux, 2) l'occurrence d'un événement dangereux, et 3) les possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage.* » L'ISO 14121-1 stipule également que la gravité d'un dommage peut être estimée en prenant en compte a) la gravité des lésions ou de l'atteinte à la santé (p. ex., légères, graves, décès) et b) l'étendue du dommage (p. ex., une ou plusieurs personnes).

Lors de l'estimation du paramètre d'exposition, les facteurs à prendre en compte sont, entre autres, les suivants : a) le besoin d'accès à la zone dangereuse (p. ex., pour le fonctionnement normal, la correction d'un dysfonctionnement, la maintenance ou la réparation), b) la nature de l'accès (p. ex., l'alimentation manuelle de matériaux), c) le temps passé dans la zone dangereuse, d) le nombre de personnes devant pouvoir accéder, et e) la fréquence d'accès.

Le paramètre d'occurrence d'un événement dangereux peut être estimé en prenant en compte des facteurs tels que a) les données de fiabilité et d'autres données statistiques, b) l'historique d'accidents, c) l'historique d'atteintes à la santé, et d) la comparaison de risques.

Toujours selon l'ISO 14121-1, lors de l'estimation de la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage, les facteurs à prendre en compte sont, entre autres, les suivants : a) les différentes personnes susceptibles d'être exposées au(x) phénomène(s) dangereux (p. ex., expérimentées ou inexpérimentées), b) le laps de temps permettant une réaction (p. ex., soudaine, rapide, lente), c) la conscience du risque (p. ex., par information générale, par l'information pour l'utilisation, par observation directe ou au moyen de signaux avertisseurs et de dispositifs indicateurs sur la machine), d) l'habileté humaine d'éviter ou de limiter le dommage (p. ex., action réflexe, agilité, possibilité de fuite), et e) l'expérience et la connaissance pratiques (p. ex., de la machine, d'une machine similaire, ou pas d'expérience).

2. OBJECTIFS

Ce rapport analyse et compare, au moyen de méthodes expérimentales, le rendement d'outils précédemment identifiés comme servant à estimer le risque en lien avec les machines industrielles. La comparaison des rendements théoriques d'un échantillon d'outils permettra aux chercheurs d'identifier des facteurs susceptibles d'influer sur l'estimation du risque. Les questions de recherche qui suivent seront abordées :

- En quoi les résultats diffèrent-ils lorsqu'on applique des outils différents à une même situation dangereuse ?
- Quelle est l'influence des types de paramètres utilisés pour définir le risque dans chaque outil sur les niveaux de risque obtenus ?
- Quelle est l'influence du nombre de paramètres utilisés pour définir le risque dans chaque outil sur les niveaux de risque obtenus ?
- Quelle est l'influence du nombre de seuils ou de niveaux de chaque paramètre sur les niveaux de risque obtenus ?
- Quelle est l'influence du nombre de niveaux de risque sur les résultats obtenus au moyen de chaque outil d'estimation du risque ?

Ultérieurement, les résultats de cette étude permettront aux chercheurs de fournir une définition théorique des caractéristiques propres aux outils fiables et robustes, ainsi que d'identifier les outils susceptibles d'engendrer des erreurs en matière d'estimation du risque.

L'hypothèse de recherche proposée tenait à ce qu'une comparaison des rendements théoriques d'un échantillon d'outils d'estimation du risque est possible en dépit de la diversité de tels outils dès lors qu'on définit une échelle d'équivalence pour chacun des paramètres utilisés par chaque outil d'estimation du risque.

L'objectif premier de cette étude était d'analyser les outils en comparant leurs paramètres d'estimation du risque et en les appliquant à des scénarios d'essai de manière à déterminer s'ils estiment le risque de façon uniforme. Un autre objectif de cette étude était de décrire les limites de certains outils et les caractéristiques souhaitables d'un outil d'estimation du risque, ainsi que de proposer des directives relatives à la construction de tels outils, notamment en ce qui a trait au type et au nombre de paramètres à utiliser, au nombre de seuils de chaque paramètre et au nombre de niveaux de risque applicables aux outils. De telles directives pourraient assurer la répétabilité des résultats et éviter que les outils ne présentent des biais susceptibles de donner lieu à une sous-estimation ou à une surestimation du risque, et donc à un choix de mesures de réduction du risque inadéquates.

3. MÉTHODOLOGIE

Deux équipes ont collaboré à cette étude, une de Polytechnique/IRSST/UQTR et l'autre, du Health and Safety Laboratory (HSL). La méthodologie retenue comportait cinq grands volets :

- sélectionner un échantillon d'outils d'estimation du risque parmi les 108 outils identifiés et analysés dans le cadre de l'étude précédente ;
- définir une échelle d'équivalence pour chacun des paramètres utilisés par les différents outils d'estimation du risque sélectionnés ;
- analyser les échelles d'équivalence relatives aux différents paramètres et identifier les problèmes liés aux types de paramètres, à la définition des niveaux et au nombre de seuils ou de niveaux des différents paramètres ;
- appliquer chacun des outils à 20 situations dangereuses en lien avec des machines ; les situations en question ont été choisies de manière à représenter différents phénomènes dangereux, différentes phases du cycle de vie des machines ainsi que différents types d'industries ; un format prédéfini de scénarios d'essai a été utilisé afin de minimiser l'incertitude relative aux paramètres et de focaliser sur l'incertitude relative aux modèles ; les équipes ont appliqué chacun des outils aux 20 situations dangereuses ;
- analyser les résultats, déterminer toute variabilité des niveaux de risque en situation identique, et interpréter les résultats en fonction de l'architecture des outils.

Les outils ont été recensés dans une base de données MS Access afin de faciliter l'analyse des résultats. À cette étape, chaque outil s'est vu attribuer un nombre et un nom afin d'éviter toute erreur d'identification.

3.1 Sélection d'un échantillon d'outils d'estimation du risque

La sélection des outils a été effectuée à partir des critères prédéfinis qui suivent :

1. Les outils sous forme de matrices ou pouvant être convertis en matrices ont été sélectionnés (les graphiques de risque et les outils numériques sont des exemples d'outils qui peuvent être convertis en matrices). Un nomogramme a aussi été sélectionné.
2. Les outils non conformes à l'ISO 14121-1:2007 (c.-à-d. utilisant des paramètres qui ne figurent pas dans la norme) n'ont pas été inclus dans l'étude. Autrement dit, seuls les outils utilisant les six paramètres décrits dans l'ISO 14121-1:2007 ont été retenus. Les paramètres en question sont la gravité du dommage, la probabilité d'occurrence de ce dommage, la fréquence d'exposition au phénomène dangereux, la durée d'exposition au phénomène dangereux, la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux et les possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage. Tous les outils inclus dans l'échantillon utilisaient le paramètre de la gravité du dommage. Cette étape a conduit à l'élimination des outils suivants :
 - a. outils utilisant des paramètres non définis dans l'ISO 14121-1:2007 ;
 - b. outils dont le paramètre de probabilité n'était pas défini (c.-à-d. il n'était pas clair qu'il s'agissait de la probabilité d'occurrence du dommage ou de la probabilité d'occurrence

- de l'événement dangereux) ;
- c. outils utilisant deux paramètres, mais excluant celui de la probabilité d'occurrence du dommage (sauf l'outil 55, qui provient d'une entreprise et qui a été inclus dans l'échantillon) ;
 - d. outils utilisant plus de deux paramètres, mais incluant celui de la probabilité d'occurrence du dommage ;
 - e. outils utilisant plus de deux paramètres, mais n'utilisant celui de la gravité du dommage qu'en conjonction avec les paramètres d'exposition (fréquence et durée) ;
 - f. outils utilisant les paramètres de probabilité d'occurrence du dommage et de fréquence d'exposition au phénomène dangereux.

Après l'application de ces critères, les deux équipes se sont rencontrées pour finaliser la liste des outils à inclure dans l'étude. Les facteurs secondaires pris en considération comprenaient la source de l'outil (p. ex., norme, guide, industrie), la popularité de l'outil, l'architecture de l'outil (p. ex., matrice, graphique, nomogramme, hybride) ainsi que le type (définition) et le nombre de paramètres utilisés. Il en a résulté un échantillon de 31 outils d'estimation du risque sur les 108 outils identifiés et analysés dans le cadre de l'étude précédente.

3.2 Établissement et analyse d'échelles d'équivalence à l'égard des paramètres d'estimation du risque

L'étape suivante consistait à définir des échelles d'équivalence relativement aux paramètres des outils d'estimation du risque afin de pouvoir comparer les outils sélectionnés. Cette comparaison était appelée à reposer sur chacun des paramètres, sur leur définition et sur le nombre de seuils afférent. Les échelles d'équivalence ont ainsi été définies paramètre par paramètre à raison d'un outil à la fois, sans recourir à des équivalences référentielles ou prédéfinies. L'objectif de l'opération était de pouvoir comparer les outils entre eux et, en fin de compte, d'obtenir une description complète des échelles d'équivalence selon les résultats obtenus. Cette approche a d'abord été testée sur cinq outils d'architecture différente, à savoir les outils 49, 62, 67, 91 et 48. Les échelles d'équivalence des paramètres d'estimation du risque ont été définies de façon indépendante par chacune des équipes, qui ont ensuite comparé leurs résultats. Après en être venues à un consensus, les deux équipes étaient à l'aise avec l'approche choisie, et elles ont procédé à l'établissement des échelles d'équivalence des outils restants. Au terme de l'exercice, des échelles d'équivalence étaient définies à l'égard de six paramètres :

- la gravité du dommage (S) ;
- la probabilité d'occurrence du dommage (Ph) ;
- la fréquence d'exposition au phénomène dangereux (Exf) ;
- la durée d'exposition au phénomène dangereux (Exd) ;
- la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux (Pe) ;
- les possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage (A).

Les paramètres d'estimation du risque ont ensuite été regroupés dans un tableau dont les colonnes contenaient les échelles d'équivalence, et les rangées, les paramètres de chaque outil. La description des paramètres a été conservée dans sa forme et sa langue d'origine (anglais ou français) afin d'éliminer d'éventuelles erreurs de traduction ou d'interprétation à cette étape. Les

colonnes ont été créées de manière à représenter les différents seuils de chacun des paramètres des outils. Au moment d'amorcer le processus d'établissement des échelles d'équivalence, le nombre final de niveaux « universels » (p. ex., S1 à S8 pour la gravité du dommage) n'était pas connu.

Une fois les échelles d'équivalence définies, elles ont été analysées afin d'identifier tout problème éventuel (p. ex., erreurs de construction ou de seuils et problèmes de définition).

3.3 Établissement d'échelles d'équivalence à l'égard des niveaux de risque

De manière à pouvoir comparer les différents outils, des échelles d'équivalence relatives aux niveaux de risque étaient requises pour chacun d'eux. Ces échelles d'équivalence ont été établies selon les trois règles suivantes : 1) le risque grandit de façon linéaire jusqu'à 100 %, 2) chaque niveau de risque représente une plage de valeurs plutôt qu'une valeur ponctuelle, et 3) un risque nul est impossible. Cette approche présume que le niveau de risque le plus élevé est identique pour tous les outils, ce qui évite d'avoir à les classer à cet égard. Étant donné que certains outils définissent le risque en termes qualitatifs et d'autres, en termes quantitatifs, les échelles d'équivalence obtenues ne sont pas biaisées par le jugement ou l'expérience d'une personne donnée. Par ailleurs, le plus faible niveau de risque d'un outil n'est jamais tenu pour être nul dans les échelles d'équivalence. Cela s'explique facilement par le fait qu'une situation dangereuse présente toujours un risque, si faible soit-il, quoique le niveau de risque le plus faible soit tolérable. L'analyse d'un outil comportant trois niveaux de risque (faible, modéré et élevé) illustre bien ce point. Les plages de risque correspondantes s'établiraient comme suit pour cet outil : faible risque de 0 à 33,3 %, risque modéré de 33,3 % à 66,6 % et risque élevé de 66,6 % à 100 %. Aux fins de comparaison ultérieure, la valeur de risque maximale de la plage est utilisée pour illustrer la pire éventualité. En guise d'exemple, le Tableau 1 présente les échelles de risque équivalentes pour les outils 48, 62 et 91.

Tableau 1 : Échelles de risque équivalentes pour les outils 48, 62 et 91

Niveaux de risque de l'outil			Niveau de risque équivalent
48	62	91	
Faible		1	16,7%
			25,0%
Modéré	3	2	33,3%
		3	50,0%
Élevé	2	4	66,7%
			5
Extrême	1		83,3%
		6	100,0%

3.4 Application des 31 outils d'estimation du risque à 20 situations dangereuses (scénarios de risque)

Les chercheurs ont appliqué les 31 outils à des situations dangereuses afin de comparer les niveaux de risque obtenus en appliquant les différents outils à des situations dangereuses, ou scénarios de risque identiques, ainsi que l'expliquent les sections suivantes.

3.4.1 Sélection et élaboration des scénarios

Les deux équipes ont proposé un certain nombre de situations dangereuses réelles dans une variété d'industries et présentant divers niveaux de risque perçus. Les situations en question correspondaient à une variété de phénomènes dangereux survenant à différentes étapes du cycle de vie des machines. Vingt de ces propositions ont été retenues pour l'élaboration de scénarios représentatifs de situations dangereuses en lien avec les machines. De manière à pouvoir appliquer les outils de façon uniforme et à écarter toute considération d'ordre subjectif, un format prédéfini a été retenu pour l'ensemble des scénarios d'essai. Ainsi la définition de chaque scénario incluait-elle une image du processus ou de la machine ainsi que du travailleur appelé à effectuer la tâche, une courte description de la situation dangereuse et certaines données visant à faciliter l'estimation des paramètres. Il convient de noter qu'en contexte d'analyse réelle, l'équipe responsable de l'estimation du risque a généralement accès à plus de données, si besoin est. Néanmoins, le niveau de détail des données choisies était suffisant aux fins d'évaluation des chercheurs. Plus précisément, chaque scénario comportait une image du poste de travail et de la machine ainsi qu'une description de l'activité, du phénomène dangereux, de la situation dangereuse, de l'événement dangereux, de la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux, du dommage possible, des données d'exposition et des données d'évitement. La Figure 3 se veut un exemple d'une des situations dangereuses élaborées (scénario R). Ce scénario porte sur un travailleur dont la tâche consiste à tailler des panneaux thermoformés à température élevée. Le travailleur en question effectue cette tâche en moyenne cinq heures par jour sans porter d'équipement protecteur.


<p>Scénario R</p> <p>Phénomène dangereux thermique</p>	
<p>Activité</p>	<p>Tailler des panneaux thermoformés.</p>
<p>Phénomène dangereux</p>	<p>Les panneaux taillés présentent une température élevée (60 °C).</p>
<p>Situation dangereuse</p>	<p>Le travailleur se trouve à proximité des panneaux.</p>
<p>Événement dangereux (choisir et définir un événement dangereux précis)</p>	<p>Le travailleur est en contact prolongé avec les panneaux.</p>
<p>Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (compte tenu de la formation, de l'expérience, de la fiabilité des composantes de sécurité et autres, des mesures de protection, de la supervision, du désengagement des dispositifs de sécurité, des procédures en place...)</p>	<p>Le travailleur est expérimenté dans l'accomplissement de cette tâche.</p> <p>Les outils nécessaires à l'accomplissement de cette tâche doivent se trouver aussi près que possible des panneaux, et les coupes doivent se faire alors que les panneaux sont encore chauds.</p>
<p>Dommage possible</p>	<p>Brûlures légères récurrentes.</p>
<p>Données d'exposition</p>	<p>En moyenne 5 heures par jour dans le cadre d'un quart de travail de 8 heures.</p>
<p>Données d'évitement (compte tenu de l'information disponible sur le temps et la vitesse, les mises en garde, les voies d'évacuation, la formation, l'expérience...)</p>	<p>Le travailleur est expérimenté et conscient du danger. La nature du travail fait en sorte qu'il est difficile de ne pas entrer en contact avec les panneaux chauds. Le travailleur ne porte pas de gants protecteurs.</p>

Figure 3 : Exemple de situation dangereuse

3.4.2 Estimation du risque inhérent aux scénarios

Deux équipes différentes ont procédé à l'estimation du risque inhérent à chacun des scénarios, l'une de Polytechnique/IRSST/UQTR et l'autre, du HSL, chacune d'elles étant composée de trois

chercheurs en sécurité des machines. Les résultats des deux équipes ont ensuite été comparés, et tout écart relatif aux niveaux de risque obtenus a été débattu jusqu'à ce qu'on en vienne à un consensus. Les problèmes d'interprétation ont été minimisés du fait que l'information nécessaire à l'égard des scénarios avait été clairement établie avant l'application des outils d'estimation du risque. Le Tableau 2 présente les seuils retenus pour les différents paramètres des outils 48, 62 et 91, de même que les niveaux de risque qui en résultent dans le cas du scénario R décrit à la Figure 3. Il importe de mentionner que les décisions relatives au niveau de risque des différents scénarios ont donné lieu à très peu d'écarts, et que les écarts relevés étaient dus au fait qu'une équipe avait omis de porter attention à un détail de la description du scénario. En conséquence, les échanges requis pour en venir à un consensus se sont avérés très brefs.

Tableau 2 : Évaluation du scénario R eu égard aux outils 48, 62 et 91

Outil n°	Paramètre	Niveau du paramètre	Niveau de risque obtenu	Niveau de risque équivalent
48	S	3	E	100%
	Ph	A		
62	S	IV	2	66,7%
	A	5		
	Exd	4		
	Pe	2		
91	S	2	6	100%
	A	2		
	Exf	2		
	Pe	3		

3.4.3 Analyse des niveaux de risque estimés

Le risque moyen relatif à l'application des 31 outils à chacun des scénarios a été calculé. Les outils ayant eu tendance à sous-estimer ou à surestimer le risque ont fait l'objet d'une analyse plus approfondie fondée sur leur architecture et leurs paramètres.

4. RÉSULTATS ET ANALYSE

4.1 Échantillon de 31 outils d'estimation du risque

Les outils rejetés de l'échantillon initial de 108 outils présentaient des lacunes ou s'avéraient difficiles à utiliser, de sorte qu'ils étaient intrinsèquement défaillants eu égard à la norme ISO 14121-1. Un exemple de biais potentiel à écarter résultait de la double prise en compte du paramètre de probabilité du dommage (p. ex., l'outil utilisait et la probabilité d'occurrence du dommage et la fréquence d'exposition à l'événement dangereux). Les outils utilisant des paramètres de probabilité non définis ou mal définis et susceptibles de donner lieu à de multiples interprétations ont aussi été rejetés dès lors que les résultats d'estimation du risque auraient alors pu dépendre de l'utilisateur. Il est intéressant de noter que la majorité des outils n'étaient pas conformes à l'ISO 14121-1 (Paques et coll., 2005b). La raison n'en est pas claire, mais pourrait notamment tenir au fait que la norme est relativement récente alors que certains outils d'estimation du risque existaient depuis plusieurs années déjà. Une autre explication pourrait être liée à l'appropriation de certains outils par divers organismes et industries, de sorte qu'ils peuvent y avoir été modifiés ou mis à jour sans évaluation formelle de leur efficacité à estimer adéquatement le risque. Qui plus est, dans le contexte industriel, le risque est généralement défini selon la gravité d'un dommage ou d'une conséquence en lien avec une certaine probabilité. Or, le flou entourant l'aspect probabilité explique en partie les variations observées dans le cadre de cette étude.

C'est ainsi qu'en définitive, un échantillon de 31 outils possédant les caractéristiques voulues sur le plan des paramètres et de l'architecture a été constitué. Le Tableau 3 dresse la liste des outils retenus et en fournit la référence. Les outils en question étaient de sources multiples et présentaient des architectures variables. Ils utilisaient de deux à quatre paramètres assortis de deux à six seuils chacun, comme l'indique le Tableau 3. Enfin, il est à noter que les paramètres étaient définis en anglais dans 27 outils et en français dans les 4 autres.

Tableau 3 : Nombre de seuils propres à chaque paramètre pour l'ensemble des outils sélectionnés

Outil	S	Ph	Exf	A	Exd	Pe	R	Référence
1	3	3	-	-	-	-	6	Worsell et Wilday (1997) p. 7-10
3	3	4	-	-	-	-	5	BS8800 (2004) p. 46-50
6	4	5	-	-	-	-	4	Worsell et Wilday (1997) p. 24-26
7	4	5	-	-	-	-	3	Worsell et Wilday (1997) p. 32-34
10	5	5	-	-	-	-	6	Worsell et Wilday (1997) p. 38-40
17	6	-	-	-	3	6	4	Worsell et Wilday (1997) p. 85-90
19	3	-	2	2	2	3	4	Worsell et Wilday (1997) p. 98-101
24	4	4	-	-	-	-	4	ANSI B11.TR3 (2000)
33	3	3	-	-	-	-	3	Main (2004) p. 155-157
34	3	3	-	-	-	-	3	Main (2004) p. 164-165
35	5	5	-	-	-	-	4	Main (2004) p. 174-177
41	4	6	-	-	-	-	3	ISO/TS 14798 (2006)
44	4	5	-	-	-	-	4	MIL-STD-882D (2000)
45	4	5	-	-	-	-	5	Main (2004) p. 286-290
46	4	4	-	-	-	-	5	Main (2004) p. 290-293
48	5	5	-	-	-	-	4	AS/NZS 4360:2004
49	2	-	2	2	-	-	7	ANSI/RIA R15.06 (1999)
53	3	-	3	-	-	3	15	Entreprise A (2002)
55	4	-	4	-	-	-	4	Entreprise X (1997)
57	4	-	5	5	-	5	2	Entreprise P (2003)
58	5	5	-	-	-	-	3	Entreprise R (2004)
62	5	-	-	3	5	5	3	SUVA (2002)
66	4	6	-	-	-	-	4	IEC 62278 (2001)
67	4	-	5	3	-	5	3	ISO 14121-2:2007
69	3	-	2	2	2	3	11	Görnemann (2003)
85	4	5	-	-	-	-	7	Ruge (2004)
89	3	4	-	-	-	-	6	The Metal Manufacturing and Minerals Processing Industry Committee (2002)
91	2	-	2	2	2	3	6	ISO 14121-2:2007
94	4	5	-	-	-	-	4	CSA-Q634-91 (1991)
102	3	3	-	-	-	-	6	Gondar (2000)
114	4	-	4	4	-	-	3	HSL (2008)

S : Gravité du dommage ; **Ph** : Probabilité d'occurrence du dommage ; **Exf** : Fréquence d'exposition ; **A** : Évitement ; **Exd** : Durée d'exposition ; **Pe** : Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux ; **R** : Risque

4.2 Échelle d'équivalence relative à la gravité du dommage

Comme il a été expliqué précédemment, une échelle d'équivalence a été définie à l'égard de chaque paramètre. Le Tableau 4 ci-dessous présente l'échelle d'équivalence établie à l'égard du paramètre de gravité du dommage (S) pour les 31 outils d'estimation du risque.

Tableau 4 : Échelle d'équivalence relative à la gravité du dommage

		Niveaux							
Outil	Gravité du dommage	S1 Blessures légères (contusions) ne nécessitant aucuns premiers soins	S2 Blessures légères nécessitant des premiers soins, mais sans arrêt de travail	S3 Blessures nécessitant plus que des premiers soins avec arrêt de travail	S4 Dommage irréversible, invalidité légère, mais n'empêchant pas de continuer à exercer le même emploi	S5 Invalidité grave, capacité de retour au travail, mais peut-être pas de continuer à exercer le même emploi	S6 Invalidité permanente et incapacité de retour au travail	S7 Décès unique	S8 Décès multiples
49	Gravité de la blessure	S1 : Blessure légère (normalement réversible ou ne nécessitant que des premiers soins selon la définition de la norme OSHA 1904.12)		S2 : Blessure grave (normalement irréversible, entraînant le décès ou nécessitant plus que des premiers soins selon la définition de la norme 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	Gravité	1- Éraflures ou contusions ne nécessitant que des premiers soins ou leur équivalent		2- Éraflures, contusions ou coupures plus graves nécessitant des soins médicaux professionnels	3- Blessure normalement irréversible, légère difficulté à retourner au travail après guérison	4- Blessure irréversible rendant très difficile, sinon impossible le retour au travail après guérison			
91	Gravité du dommage	S1 : Blessure légère (généralement réversible) ; par exemple, éraflures, lacérations, contusions ou plaie ne nécessitant que des premiers soins		S2 : Blessure grave (généralement irréversible, inclusion faite du décès) ; par exemple, membre brisé, arraché ou écrasé, fracture, coupure grave nécessitant des points de suture, trouble musculosquelettique grave (TMG), décès					
48	Mesure qualitative de l'impact	5 : Négligeable – aucune blessure, perte financière minime, impact négligeable sur l'environnement	4 : Mineur – premiers soins suffisants, rejet sur place immédiatement contenu, perte financière moyenne	3 : Modéré – traitement médical requis, rejet sur place contenu avec une aide de l'extérieur, perte financière élevée	2 : Majeur – blessures importantes, perte de capacité de production, rejet hors site contenu sans aide de l'extérieur et sans impact négatif important, perte financière majeure			1 : Catastrophique – décès, rejet toxique hors site avec impact négatif, perte financière énorme	
1	Potentiel du phénomène dangereux à causer un dommage	1 : Léger – moins de 3 jours d'arrêt de travail			2 : Grave – plus de 3 jours d'arrêt de travail		3 : Majeur – décès ou blessure grave		

		Niveaux							
Outil	Gravité du dommage	S1 Blessures légères (contusions) ne nécessitant aucuns premiers soins	S2 Blessures légères nécessitant des premiers soins, mais sans arrêt de travail	S3 Blessures nécessitant plus que des premiers soins avec arrêt de travail	S4 Dommages irréversibles, invalidité légère, mais n'empêchant pas de continuer à exercer le même emploi	S5 Invalidité grave, capacité de retour au travail, mais peut-être pas de continuer à exercer le même emploi	S6 Invalidité permanente et incapacité de retour au travail	S7 Décès unique	S8 Décès multiples
3	Gravité du dommage	Blessures superficielles – coupures et contusions mineures, irritation oculaire causée par la poussière		Lacérations – brûlures, commotion, entorse grave, fracture mineure	Blessures graves ou mortelles – amputation, blessures multiples, fracture majeure				
6	Pire dommage probable	Environnemental – dommage aux installations (aucune blessure)	Blessure mineure		Blessure majeure – invalidité permanente, inclusion faite d'une atteinte permanente à la santé			Décès	
7	Conséquences (gravité)	Mineures		Majeures		Graves		Mortelles	
10	Niveau de gravité	1 : Mineur : blessure possible à un membre du personnel de l'usine, incident évité de justesse		2 : Appréciable : blessure à un membre du personnel de l'usine, incident évité de justesse à déclarer en vertu de la réglementation CIMAH	3 : Majeur : blessures à moins de 5 membres du personnel de l'usine avec 1 chance sur 10 de décès		4 : Grave : blessures à plus de 5 membres du personnel de l'usine ou décès de l'un d'eux avec 1 chance sur 10 de blessure dans le public	5 : Catastrophique : 3 décès ou plus parmi les membres du personnel et plus de 5 blessés ou un décès dans le public	
17	Conséquences ou gravité possible d'une blessure	VI – Négligeables	V – Mineures	IV – Majeures		III – Graves		II – Décès	I – Décès multiples
19	Gravité (du dommage possible)	1 : Légère blessure (normalement réversible) ou atteinte à la santé			2 : Grave blessure (normalement irréversible) ou atteinte à la santé			3 : Décès	
24	Gravité du dommage	Mineur – aucune blessure ou légère blessure ne nécessitant que des premiers soins (aucun ou très court arrêt de travail)		Modéré – blessure ou maladie importante nécessitant plus que des premiers soins (capacité de continuer à exercer le même emploi)	Grave – blessure ou maladie grave et débilante (capacité de retour éventuel au travail)		Catastrophique – décès, blessure ou maladie débilante de façon permanente (incapacité de retour au travail)		

		Niveaux							
Outil	Gravité du dommage	S1 Blessures légères (contusions) ne nécessitant aucuns premiers soins	S2 Blessures légères nécessitant des premiers soins, mais sans arrêt de travail	S3 Blessures nécessitant plus que des premiers soins avec arrêt de travail	S4 Dommage irréversible, invalidité légère, mais n'empêchant pas de continuer à exercer le même emploi	S5 Invalidité grave, capacité de retour au travail, mais peut-être pas de continuer à exercer le même emploi	S6 Invalidité permanente et incapacité de retour au travail	S7 Décès unique	S8 Décès multiples
33	Gravité de la blessure ou de la maladie	Blessure ou maladie modérée			Blessure ou maladie grave		Décès, blessure ou maladie très grave		
34	Niveau de gravité	Faible – autre blessure ou maladie	Moyen – blessure ou maladie causant une invalidité à court terme			Élevé – décès, blessure ou maladie grave causant une invalidité à long terme			
35	Conséquences (mesure qualitative de l'impact)	5 : Négligeables – aucune blessure, perte financière minime, impact négligeable sur l'environnement	4 : Mineures – premiers soins suffisants, rejet sur place immédiatement contenu, perte financière moyenne	3 : Modérées – traitement médical requis, rejet sur place contenu avec une aide de l'extérieur, perte financière élevée	2 : Majeures – blessures importantes, perte de capacité de production, rejet hors site contenu sans aide de l'extérieur et sans impact négatif important, perte financière majeure			1 : Catastrophiques – décès, rejet toxique hors site avec impact négatif, perte financière énorme	
41	Niveau de gravité du dommage	4 : Négligeable – aucune blessure, aucune maladie professionnelle, aucun dommage environnemental	3 : Faible – blessure mineure, maladie professionnelle mineure ou dommage mineur aux systèmes ou à l'environnement		2 : Moyen – blessure grave, maladie professionnelle grave ou dommage important aux systèmes ou à l'environnement			1 : Élevé – décès, perte de système ou dommage grave à l'environnement	
44	Niveaux suggérés de gravité d'un accident	IV Négligeable – pourrait occasionner une blessure ou une maladie n'entraînant pas la perte d'une journée de travail, une perte financière de plus de 2 K \$ mais de moins de 10 K \$, ou un dommage environnemental minime n'allant à l'encontre d'aucune loi et d'aucun règlement		III Marginal – pourrait occasionner une blessure ou une maladie professionnelle entraînant la perte d'une ou plusieurs journées de travail	II Critique – pourrait occasionner une invalidité partielle permanente ou encore des blessures ou une maladie professionnelle entraînant l'hospitalisation d'au moins 3 membres du personnel			I Catastrophique – pourrait être cause de décès, d'une invalidité totale permanente, d'une perte financière de plus de 1 M \$ ou d'un dommage environnemental grave et irréversible allant à l'encontre d'une loi ou d'un règlement	
45	Gravité du phénomène dangereux	IV Négligeable – peu ou pas de répercussions négatives sur la capacité d'exécution de la mission. Premiers soins ou soins médicaux mineurs suffisants (risque d'accident). Dommage léger à l'équipement ou aux systèmes, qui demeurent néanmoins entièrement fonctionnels et utilisables. Peu ou pas de dommage à la propriété ou à l'environnement.		III Marginal – capacité d'exécution de la mission ou disponibilité opérationnelle de l'unité compromise	II Critique – capacité d'exécution de la mission ou disponibilité opérationnelle de l'unité lourdement (gravement) compromise. Invalidité partielle permanente ou invalidité totale temporaire d'une durée de plus de 3 mois (risque d'accident).			I Catastrophique – perte de capacité d'exécution de la mission ou échec de la mission. Décès ou invalidité totale permanente (risque d'accident).	

		Niveaux							
Outil	Gravité du dommage	S1 Blessures légères (contusions) ne nécessitant aucuns premiers soins	S2 Blessures légères nécessitant des premiers soins, mais sans arrêt de travail	S3 Blessures nécessitant plus que des premiers soins avec arrêt de travail	S4 Dommage irréversible, invalidité légère, mais n'empêchant pas de continuer à exercer le même emploi	S5 Invalidité grave, capacité de retour au travail, mais peut-être pas de continuer à exercer le même emploi	S6 Invalidité permanente et incapacité de retour au travail	S7 Décès unique	S8 Décès multiples
46	Gravité du phénomène dangereux	Catégorie IV – le phénomène dangereux constitue une menace minimale pour la sécurité ou la santé du personnel, pour la propriété, pour les intérêts de la nation, des forces ou du commandement, ou pour l'utilisation efficace des ressources	Catégorie III – le phénomène dangereux peut être cause de blessure ou de maladie mineure, de dommage mineur à la propriété, de menace mineure pour les intérêts de la nation, des forces ou du commandement, ou pour l'utilisation efficace des ressources		Catégorie II – le phénomène dangereux peut être cause de blessure ou de maladie grave, de dommage grave à la propriété, de menace grave pour les intérêts de la nation, des forces ou du commandement, ou pour l'utilisation efficace des ressources			Catégorie I – le phénomène dangereux peut être cause de décès, entraîner la perte d'installations ou de ressources, ou porter gravement atteinte aux intérêts de la nation	
53	Sévérité	2 – Blessure mineure requérant seulement des premiers soins (<1 K \$)		6 – Blessure majeure résultant en cas consigné (>1 K \$, <10 K \$) 12 – Blessure majeure résultant en décès, maladie ou blessure avec perte de temps (> 10 K \$)					
55	Gravité du dommage	4 – Négligeable : blessure ou maladie professionnelle minimale		3 – Marginal : blessure ou maladie professionnelle mineure	2 – Critique : blessure ou maladie professionnelle grave			1 – Catastrophique : décès	
57	Gravité du dommage	1 – réversible, premiers soins		2 – réversible, soins médicaux	3 – permanent, perte de doigts		4 – décès, perte d'un œil ou d'un bras		
58	Conséquences	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	Niveau de gravité du phénomène dangereux	Négligeable : blessure mineure possible		Marginal : blessure mineure et/ou menace importante pour l'environnement	Critique : décès unique et/ou blessure grave et/ou dommage important à l'environnement				Catastrophique : décès et/ou blessures graves multiples et/ou dommage majeur à l'environnement
69	Gravité du dommage	Faible : dommage minimal sans conséquences permanentes		Moyenne : dommage grave	Élevée : dommage grave avec conséquences permanentes				

		Niveaux							
Outil	Gravité du dommage	S1 Blessures légères (contusions) ne nécessitant aucuns premiers soins	S2 Blessures légères nécessitant des premiers soins, mais sans arrêt de travail	S3 Blessures nécessitant plus que des premiers soins avec arrêt de travail	S4 Dommage irréversible, invalidité légère, mais n'empêchant pas de continuer à exercer le même emploi	S5 Invalidité grave, capacité de retour au travail, mais peut-être pas de continuer à exercer le même emploi	S6 Invalidité permanente et incapacité de retour au travail	S7 Décès unique	S8 Décès multiples
				sans conséquences permanentes					
85	Gravité	S4 – Sur place : possibilité de blessures mineures ou d'irritation		S3 – Sur place : possibilité d'une ou plusieurs blessures avec arrêt de travail	S2 – Sur place : possibilité d'une ou plusieurs blessures graves (irréversibles)			S1 – Sur place : possibilité d'un ou plusieurs décès	
89	Gravité possible de la blessure (conséquences)	Mineure : premiers soins seulement, pas d'arrêt de travail		Majeure : mutilation ou blessure importante, mais non permanente	Catastrophique : décès, invalidité ou blessure permanente				
94	Gravité	Négligeable	Mineure		Majeure			Catastrophique	
102	Gravité (estimation de la gravité de l'accident)	I – Mineure : conséquences de peu de gravité	II – Importante : le travail doit être interrompu et des premiers soins s'imposent		III – Désastreuse : accident très grave (une personne a été blessée pour la vie, rendue aveugle ou même tuée)				
114	Gravité du dommage	Léger : premiers soins requis, mais sans arrêt de travail ni nécessité de changer d'emploi		Temporaire : blessure ou atteinte à la santé nécessitant un arrêt de travail, mais dont on prévoit normalement un plein rétablissement (c.-à-d. aucune perte de qualité de vie)	Permanent : invalidité ou atteinte à la santé normalement irréversible et entraînant une perte de qualité de vie			Décès : blessure ou atteinte à la santé entraînant en peu de temps le décès de l'opérateur et/ou de toute autre personne se trouvant à proximité	

4.2.1 Terminologie

La gravité du dommage (selon la définition de l'ISO 14121) est exprimée de multiples façons dans les différents outils (p. ex., *gravité de la blessure*, *potentiel du phénomène dangereux à causer un dommage*, *pire dommage probable*, *conséquences*). On a constaté que la notion de gravité du dommage était liée au type ou à la source de l'outil. À titre d'exemple, les outils 48 et

35 découlaient de normes de gestion du risque et faisaient état de « *mesure qualitative de l'impact* », dès lors qu'ils estimaient non seulement d'éventuelles blessures, mais aussi l'éventualité d'une perte financière ainsi que d'un rejet toxique et de ses répercussions. L'outil 6 traitait pour sa part de « *pire dommage probable* », de manière à inclure tout dommage à l'environnement ou aux installations. Et l'outil 44, issu d'une norme militaire, retenait l'idée de « *niveaux suggérés de gravité d'un accident* » afin d'inclure tout dommage à l'environnement ou d'ordre financier. Ainsi un manque d'homogénéité dans la terminologie employée à l'égard de ce paramètre a-t-il été observé, et bien qu'il ait pu être expliqué, il soulève la question de savoir si les outils en question sont adaptés à l'estimation du risque en lien avec les machines.

4.2.2 Construction de l'échelle d'équivalence relative à la gravité du dommage

La construction de ce tableau présentait un défi dans la mesure où les outils définissaient ce paramètre en des termes différents et selon des niveaux variables. Deux colonnes ont dû y être ajoutées, à savoir S1 : blessures légères ne nécessitant aucuns premiers soins, et S8 : décès multiples. L'ajout de la première colonne s'avérait nécessaire du fait que de nombreux outils utilisaient ce niveau, et l'ajout de la dernière colonne visait à accommoder les outils 10, 17 et 66, qui faisaient état de décès multiples.

On a constaté que la gravité du dommage était décrite de diverses façons par les outils, et que divers facteurs y étaient souvent entremêlés, dont les exemples qui suivent :

- premiers soins ;
- arrêt de travail ;
- étendue du dommage ou incidence sur l'intégrité physique ;
- réversibilité du dommage ;
- invalidité ;
- nombre de personnes blessées ;
- dommage aux systèmes entraînant une perte financière ;
- description qualitative en un mot (majeur, négligeable, etc.).

4.2.3 Échelle d'équivalence générale des outils relativement à la gravité du dommage

L'établissement d'une échelle d'équivalence à l'égard de ce paramètre a donné lieu à la définition de huit seuils approximatifs sur la base des outils analysés :

- S1, qui correspond à des blessures légères (contusions) ne nécessitant aucuns premiers soins (p. ex., blessures superficielles, coupures mineures, ecchymoses, irritation oculaire causée par la poussière) ;
- S2, qui correspond à des blessures légères nécessitant des premiers soins, mais sans arrêt de travail (p. ex., brûlures superficielles) ;
- S3, qui correspond à des blessures nécessitant plus que des premiers soins (assistance médicale) avec arrêt de travail (p. ex., perforation, coupures profondes, fractures mineures, brûlures) ;
- S4, qui correspond à un dommage irréversible et à une invalidité légère, mais n'empêchant pas de continuer à exercer le même emploi (p. ex., perte d'un bout de doigt) ;

- S5, qui correspond à une invalidité grave avec capacité de retour au travail, mais peut-être pas de continuer à exercer le même emploi (p. ex., fractures majeures, perte d'un œil) ;
- S6, qui correspond à une invalidité permanente sans capacité de retour au travail (p. ex., amputation d'un bras ou d'une jambe) ;
- S7, qui correspond à un décès unique ;
- S8, qui correspond à des décès multiples.

4.2.4 Granularité et nombre de niveaux

Un examen du tableau de l'échelle d'équivalence relative au paramètre de gravité du dommage révèle que la granularité ou la dispersion des valeurs possibles de ce paramètre varie considérablement. Il existe un lien entre le niveau de détail des définitions de seuils et le nombre de seuils requis pour couvrir l'ensemble de la gamme des niveaux de gravité en lien avec des scénarios dangereux. Les outils dont les niveaux sont décrits de façon très générale ou très détaillée ont tendance à nécessiter moins de niveaux. À titre d'exemple, les outils 49 et 91 de l'échantillon définissent la gravité du dommage selon deux niveaux. L'outil 49 définit ces niveaux comme suit : « *Blessure légère (normalement réversible ou ne nécessitant que des premiers soins selon la définition de la norme OSHA 1904.12)* » et « *Blessure grave (normalement irréversible, entraînant le décès ou nécessitant plus que des premiers soins selon la définition de la norme OSHA 1904.12)* ». L'outil 91 définit ces niveaux comme suit : « *Blessure légère (généralement réversible) ; p. ex., éraflures, lacérations, contusions ou plaie ne nécessitant que des premiers soins* » et « *Blessure grave (généralement irréversible, inclusion faite du décès) ; p. ex., membre brisé, arraché ou écrasé, fracture, coupure grave nécessitant des points de suture, trouble musculo-squelettique grave (TMG), décès* ».

On constate que ces deux outils utilisent comme critères la réversibilité de la blessure et la nécessité de premiers soins, et qu'ils mettent tous deux le décès au même niveau qu'une blessure grave. L'outil 49 semble en outre présenter une contradiction en décrivant un doigt ou un membre brisé comme une blessure réversible, mais nécessitant plus que des premiers soins, et une coupure comme une blessure réversible et susceptible de nécessiter plus que des premiers soins. L'outil précise que lorsque plusieurs critères peuvent s'appliquer, le plus restrictif doit être utilisé, mais l'emploi de « *ou* » peut contribuer à la confusion engendrée par ce critère de sélection.

L'outil 91 surmonte ce problème en donnant certains exemples de blessures, ce qui rend le choix un peu plus clair. Cependant, l'utilisation de deux niveaux semble insuffisante, puisqu'elle oblige à mettre une blessure permanente au même niveau qu'un décès. La perte d'un doigt se retrouve ainsi au même niveau que le décès, ce qui peut biaiser les indices de risque. On a par ailleurs observé que ces outils ne faisaient aucune mention des notions d'*arrêt de travail* ou de *retour au travail dans le même emploi ou dans un autre*. La majorité des outils de l'échantillon mettaient le décès dans une catégorie distincte, conformément à l'ISO 14121-1:2007, qui définit ce paramètre selon trois niveaux, à savoir léger, grave et décès. Les outils offrant trois niveaux ou plus ont ainsi tendance à affecter le décès à un niveau distinct. Par exemple, l'outil 1 présente les niveaux et les définitions qui suivent en ce qui a trait à la gravité du dommage : « *1 : Léger – moins de trois jours d'arrêt de travail, 2 : Grave – plus de trois jours d'arrêt de travail, et 3 : Majeur –*

décès ou blessure grave. » On constate ici que l'importance de la blessure et le nombre de jours d'arrêt de travail sont utilisés comme critères de sélection. L'hypothèse selon laquelle l'importance de la blessure est en corrélation directe avec le nombre de jours d'arrêt de travail était aussi retenue par d'autres outils, mais sans nécessairement préciser le nombre de jours. En outre, on relève ici une contradiction, en ce qu'une blessure entraînant trois jours ou plus d'arrêt de travail pourrait être grave ou majeure. De plus, l'outil ne précise pas le type d'atteinte à la santé, et l'emploi du terme « grave » dans la désignation d'un niveau de même que dans la description d'un autre niveau peut porter à confusion.

Un autre outil dont le paramètre de gravité comporte trois niveaux utilise la réversibilité du dommage comme critère de sélection. L'outil 19, par exemple, décrit ces niveaux comme suit : « 1 : *Légère blessure (normalement réversible) ou atteinte à la santé*, 2) *Grave blessure (normalement irréversible) ou atteinte à la santé*, et 3) *Décès.* » Cependant, aucun exemple n'est fourni et le choix n'est pas évident, puisqu'une blessure peut être grave, mais réversible (p. ex., doigt cassé). Les formulations qualitatives n'offrent que peu d'indices.

Un autre outil à trois niveaux est l'outil 33, qui retient les énoncés suivants : « *Blessure ou maladie modérée, Blessure ou maladie grave et Décès, blessure ou maladie très grave.* » Encore une fois, les formulations qualitatives utilisées par l'outil n'offrent que peu d'indices à l'utilisateur, et la différence entre modéré et grave reste obscure. Les décisions auront dès lors tendance à être très subjectives et fondées sur l'expérience personnelle.

L'outil 3 utilise trois niveaux qui s'énoncent comme suit : « *Blessures superficielles – coupures et contusions mineures, irritation oculaire causée par la poussière ; Lacérations – brûlures, commotion, entorse grave, fracture mineure ; et Blessures graves ou mortelles – amputation, blessures multiples, fracture majeure.* » Cet outil fournit des exemples de blessures ou de dommage afin de guider l'utilisateur. Cependant, l'écart est de taille entre les lacérations et les blessures graves ou mortelles, et les blessures permanentes se retrouvent au même niveau que le décès.

En ce qui concerne les outils 69 et 89, qui ont aussi trois niveaux, on constate que la perte d'un doigt est mise au même niveau que le décès, tout comme un dommage permanent.

Les outils utilisant quatre niveaux de gravité, comme l'outil 57, ont recours à la réversibilité de même qu'à la gravité ou au type de blessure comme critères de sélection. Dans ce cas précis, les niveaux s'énoncent comme suit : « 1 – *Réversible, premiers soins ; 2 – Réversible, soins médicaux ; 3 – Permanent, perte de doigts ; et 4 – Décès, perte d'un œil ou d'un bras.* » Il semble y avoir une transition fluide entre les niveaux. Cet outil utilise la réversibilité, le type de traitement et l'étendue du dommage comme critères. La documentation fournit en outre des renseignements additionnels, mais pas la matrice. Le même phénomène a été observé dans certains autres outils, et l'intégration de tous les renseignements dans la matrice s'est parfois avérée difficile (par manque d'espace), mais elle devait néanmoins être faite partout où c'était possible ; sinon, les renseignements devaient au moins être facilement identifiables de manière à soutenir le processus d'estimation du risque. L'outil 67, par exemple, utilisait les descriptions suivantes : « 1- *Éraflures ou contusions ne nécessitant que des premiers soins ou leur équivalent ; 2- Éraflures, contusions ou coupures plus graves nécessitant des soins médicaux*

professionnels ; 3- Blessure normalement irréversible. Légère difficulté à retourner au travail après guérison ; et 4- Blessure irréversible rendant très difficile, sinon impossible le retour au travail après guérison. » En ce qui concerne cet outil, des renseignements additionnels se trouvent dans le texte, mais sans être facilement identifiables. Par ailleurs, cet outil n'inclut pas le décès dans son paramètre de gravité.

Certains outils n'utilisent que la gravité (étendue de la blessure), le type de traitement requis et la notion d'arrêt de travail et de capacité de retour au travail, sans recourir au critère de réversibilité. Cette approche pourrait s'avérer plus appropriée que celle qui intègre la réversibilité, dans la mesure où elle prend en considération les fractures et les blessures graves tenues pour réversibles. Un exemple en est fourni par l'outil 24, dont les niveaux sont énoncés comme suit : « *Mineur – aucune blessure ou légère blessure ne nécessitant que des premiers soins (aucun ou très court arrêt de travail) ; Modéré – blessure ou maladie importante nécessitant plus que des premiers soins (capacité de continuer à exercer le même emploi) ; Grave – blessure ou maladie grave et débilante (capacité de retour éventuel au travail) ; et Catastrophique – décès, blessure ou maladie débilante de façon permanente (incapacité de retour au travail) »* De plus, l'utilisation du critère de réversibilité pour définir la gravité du dommage tend à limiter à 2 ou 3 le nombre de niveaux à l'égard de ce paramètre (sauf pour l'outil 57).

4.2.5 Niveaux exprimés sous forme de mot unique

Un même terme peut être défini ou utilisé différemment par différents outils, bien que, dans certains cas, aucune définition ne soit fournie. Les mots peuvent avoir divers sens ou divers poids selon les autres termes employés pour estimer la gravité dans un outil donné. Un bon exemple en est le terme « *Majeur* », retenu par plusieurs outils. Ainsi l'outil 1, qui comporte trois niveaux, emploie « *Léger* », « *Grave* » et « *Majeur* » pour les définir. Quant à l'outil 10, qui comporte cinq niveaux, il emploie « *Mineur* », « *Appréciable* », « *Majeur* », « *Grave* » et « *Catastrophique* ». L'emploi d'un seul mot ou de quelques termes imprécis pour définir les niveaux du paramètre de gravité est le fait de nombreux outils. Des exemples en sont les outils 17 et 94, qui n'ont recours qu'à des termes qualitatifs sans les définir ni en donner d'exemples. D'autres, comme les outils 66, 17 et 24, fournissent des définitions plus détaillées de chaque niveau. L'emploi d'un seul mot ou de quelques termes imprécis peut donner lieu à diverses interprétations par différents utilisateurs, et ainsi générer des incohérences quant aux niveaux de risque.

4.2.6 Définitions incohérentes

Par ailleurs, certains outils emploient des termes inappropriés par rapport aux définitions fournies. Par exemple, l'outil 41 emploie « *moyen* » pour qualifier « *blessure grave, maladie professionnelle grave ou dommage important aux systèmes ou à l'environnement* ». Dans le cas d'autres outils, niveaux et définitions ne concordent pas. Par exemple, l'outil 89 emploie « *majeur* » et définit ce niveau comme correspondant à « *mutilation ou blessure importante, mais non permanente* ». Premièrement, l'emploi du terme « *majeur* » n'est pas cohérent avec « *non permanente* ». Deuxièmement, la juxtaposition de « *mutilation ou blessure importante, mais non permanente* » est pour le moins douteuse. Le terme « *moyen* » aurait sans doute été plus approprié que « *majeur* », et la précision « *non permanente* » pourrait être retirée de la définition.

4.2.7 Mélange de facteurs et de notions

Certains outils ont tendance à mêler les notions ou les facteurs en ce qui a trait à la définition des différents niveaux de gravité d'un dommage. L'outil 1 emploie « *arrêt de travail* » en lien avec les deux premiers niveaux (« *Léger – moins de trois jours d'arrêt de travail* » et « *Grave – plus de trois jours d'arrêt de travail* »), et l'impact sur l'intégrité physique en lien avec le dernier niveau (« *Majeur – décès ou blessure grave* »). Quant à l'outil 58, il retient l'étendue de la blessure pour S1, S2 et S5 à S8, mais fait plutôt état d'arrêt de travail pour S3 et S4.

4.3 Échelle d'équivalence relative à la probabilité du dommage

Le paramètre de probabilité du dommage est utilisé dans 23 des 31 outils sélectionnés. L'échelle d'équivalence définie pour ce paramètre est présentée dans le Tableau 5. L'exercice a permis de dégager sept seuils approximatifs pour ce paramètre :

- Ph1 : occurrence quasi impossible (improbable, peu plausible) ;
- Ph2 : occurrence peu probable, mais plausible ;
- Ph3 : occurrence possible, mais non anticipée ;
- Ph4 : occurrence possible et prévisible ;
- Ph5 : occurrence quasi certaine ;
- Ph6 : certitude d'occurrence au moins une fois ;
- Ph7 : certitude d'occurrences multiples (très probable).

Tableau 5 : Échelle d'équivalence relative à la probabilité du dommage

		Niveaux						
Out il	Probabilité du dommage	Ph1 : Occurrence quasi impossible	Ph2 : Occurrence peu probable, mais plausible	Ph3 : Occurrence possible, mais non anticipée	Ph4 : Occurrence possible et prévisible	Ph5 : Occurrence quasi certaine	Ph6 : Certitude d'occurrence au moins une fois	Ph7 : Certitude d'occurrences multiples
48	Mesure qualitative de la probabilité	E – Rare – Ne survient que dans des circonstances exceptionnelles		D – Improbable – Occurrence possible, mais non anticipée	C – Possible – Pourrait survenir	B – Probable – Survient dans la plupart des circonstances	A – Occurrence quasi certaine – Survient vraisemblablement dans la plupart des circonstances	
1	Probabilité d'occurrence du dommage	1 : Faible – Improbable			2 : Moyenne – Possible	3 : Élevée – Probable		

		Niveaux						
Out il	Probabilité du dommage	Ph1 : Occurrence quasi impossible	Ph2 : Occurrence peu probable, mais plausible	Ph3 : Occurrence possible, mais non anticipée	Ph4 : Occurrence possible et prévisible	Ph5 : Occurrence quasi certaine	Ph6 : Certitude d'occurrence au moins une fois	Ph7 : Certitude d'occurrences multiples
3	Probabilité du dommage	Très improbable – Moins de 1 % de risque d'occurrence durant la vie active d'un individu			Improbable – Ne survient généralement qu'une seule fois durant la vie active d'un individu	Probable – Survient généralement aux cinq ans durant la vie active d'un individu	Très probable – Survient généralement au moins une fois tous les six mois durant la vie active d'un individu	
6	Probabilité ou plausibilité d'occurrence du dommage	Improbable – Probabilité pratiquement nulle	Négligeable – Peu probable, mais concevable		Possible – Pourrait survenir	Probable – Prévisible, surviendra plusieurs fois		(Très) probable / Fréquent – Survendra de façon répétée / Événement quasi inévitable
7	Probabilité (risque)	Négligeable	Improbable	Possible		Probable	(Très) probable	
10	Fréquence d'occurrence annuelle acceptable de chaque niveau de gravité	1x10 ⁻⁵ par année 1x10 ⁻⁴ par année	1x10 ⁻³ par année	1x10 ⁻² par année		1x10 ⁻¹ par année		
24	Probabilité d'occurrence du dommage	Négligeable – Probabilité pratiquement nulle	Improbable – Faible risque d'occurrence		Probable – Occurrence possible	Très probable – Occurrence quasi certaine		
33	Probabilité d'occurrence (d'une blessure)	Improbable, mais possible			Probable	Très probable		
34	Niveau de probabilité	Faible – Ne survient jamais ou que très rarement			Moyenne – Probabilité raisonnable d'occurrence	Élevée – Occurrence certaine ou quasi certaine		

		Niveaux						
Out il	Probabilité du dommage	Ph1 : Occurrence quasi impossible	Ph2 : Occurrence peu probable, mais plausible	Ph3 : Occurrence possible, mais non anticipée	Ph4 : Occurrence possible et prévisible	Ph5 : Occurrence quasi certaine	Ph6 : Certitude d'occurrence au moins une fois	Ph7 : Certitude d'occurrences multiples
35	Mesure qualitative de la probabilité	E : Rare – Ne survient que dans des circonstances exceptionnelles		D : Improbable – Occurrence possible, mais non anticipée	C : Possible – Pourrait survenir	B : Probable – Survendra probablement dans la plupart des circonstances	A : Occurrence quasi certaine – Survendra vraisemblablement dans la plupart des circonstances	
41	Niveau de probabilité d'occurrence d'un dommage	F- Hautement improbable – Probabilité pratiquement nulle	E- Improbable – Très peu de risque d'occurrence durant le cycle de vie	D- Négligeable – Peu probable, mais occurrence possible durant le cycle de vie	C- Occasionnel – Survendra vraisemblablement au moins une fois durant le cycle de vie		B- Probable – Survendra vraisemblablement plusieurs fois durant le cycle de vie	A- Hautement probable – Survendra vraisemblablement de façon fréquente durant le cycle de vie
44	Niveaux suggérés de probabilité d'un accident (potentiel d'occurrence)	E : Improbable – Risque d'occurrence pratiquement nul au cours de la vie d'un élément (probabilité d'occurrence inférieure à 10^{-6})	D : Négligeable – Peu probable, mais possible au cours de la vie d'un élément (probabilité d'occurrence inférieure à 10^{-3} , mais supérieure à 10^{-6})		C : Occasionnel – Occurrence vraisemblable au cours de la vie d'un élément (probabilité d'occurrence inférieure à 10^{-2} , mais supérieure à 10^{-3})		B : Probable – Survendra plusieurs fois au cours de la vie d'un élément (probabilité d'occurrence inférieure à 10^{-1} , mais supérieure à 10^{-2})	A : Fréquent – Probabilité d'occurrence répétée au cours de la vie d'un élément (probabilité d'occurrence supérieure à 10^{-1})
45	Probabilité d'accident Définitions variables selon qu'un seul soldat est exposé ou que tous les soldats sont exposés	E : Improbable – Ne surviendra sans doute jamais, sans toutefois être impossible		D : Rare – Risque d'occurrence négligeable, mais probable avec le temps		C : Occasionnel – Survendra de façon sporadique	B : Probable – Survendra plusieurs fois	A : Fréquent – Survendra très souvent, occurrence continue

		Niveaux							
Out il	Probabilité du dommage	Ph1 : Occurrence quasi impossible	Ph2 : Occurrence peu probable, mais plausible	Ph3 : Occurrence possible, mais non anticipée	Ph4 : Occurrence possible et prévisible	Ph5 : Occurrence quasi certaine	Ph6 : Certitude d'occurrence au moins une fois	Ph7 : Certitude d'occurrences multiples	
46	Probabilité d'accident	Sous-catégorie D – Occurrence improbable			Sous-catégorie C – Occurrence possible avec le temps. Occurrence raisonnablement prévisible au moins une fois dans le temps à l'égard d'un élément ou d'une personne, ou plusieurs fois à l'égard d'une flotte, d'un stock ou d'un groupe de personnes		Sous-catégorie B – Occurrence probable avec le temps. Occurrence prévisible à plusieurs reprises à l'égard d'un élément ou d'une personne, ou de façon fréquente à l'égard d'une flotte, d'un stock ou d'un groupe de personnes	Sous-catégorie A – Probabilité d'occurrence immédiate ou à brève échéance. Occurrence prévisible de façon fréquente à l'égard d'un élément ou d'une personne, ou de façon continue à l'égard d'une flotte, d'un stock ou d'un groupe de personnes	
58	Probabilité de chaque événement dangereux (en supposant que l'événement dangereux veut ici 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						
Out il	Probabilité du dommage	Ph1 : Occurrence quasi impossible	Ph2 : Occurrence peu probable, mais plausible	Ph3 : Occurrence possible, mais non anticipée	Ph4 : Occurrence possible et prévisible	Ph5 : Occurrence quasi certaine	Ph6 : Certitude d'occurrence au moins une fois	Ph7 : Certitude d'occurrences multiples
66	Fréquence d'occurrence de l'événement dangereux	Inimaginable : occurrence extrêmement improbable. On peut présumer que l'événement dangereux ne se produira jamais.	Improbable : occurrence peu probable, mais plausible. On peut présumer que l'événement dangereux se produira de façon exceptionnelle.		Négligeable : occurrence vraisemblable durant le cycle de vie du système. On peut raisonnablement s'attendre à ce que l'événement dangereux se produise.		Occasionnel : possibilité d'occurrence répétée. On peut s'attendre à ce que l'événement dangereux se produise plusieurs fois.	Probable : certitude d'occurrences multiples. On peut s'attendre à ce que l'événement dangereux se produise souvent. Fréquent : probabilité d'occurrence répétée. L'événement dangereux se produira de façon continue.
85	Probabilité du dommage (degrés de fréquence)	Ph4 – Non plausible (probabilité d'occurrence inférieure à 1 par 10 000 ans)	Ph3 – N'est jamais arrivé, mais peut être envisagé (probabilité d'occurrence d'environ 1 par 1000 ans)		Ph2 – Est déjà presque arrivé, incident évité de justesse (probabilité d'occurrence d'environ 1 par 100 ans)	Ph1 – Est arrivé une fois (probabilité d'occurrence d'environ 1 par 10 ans)		Ph0 – Est arrivé à quelques reprises (1 fois par année ou plus souvent)
89	Probabilité que l'événement dangereux cause une blessure	Très improbable : pourrait arriver, mais n'arrivera sans doute jamais		Improbable : pourrait arriver, mais rarement		Probable : pourrait arriver à l'occasion		Très probable : pourrait arriver fréquemment
94	Fréquence d'occurrence	Improbable	Négligeable		Occasionnel	Probable		Fréquent

		Niveaux						
Out il	Probabilité du dommage	Ph1 : Occurrence quasi impossible	Ph2 : Occurrence peu probable, mais plausible	Ph3 : Occurrence possible, mais non anticipée	Ph4 : Occurrence possible et prévisible	Ph5 : Occurrence quasi certaine	Ph6 : Certitude d'occurrence au moins une fois	Ph7 : Certitude d'occurrences multiples
102	Probabilité d'occurrence d'un accident	1 : Improbable : l'événement dangereux risque très peu de causer un accident			2 : Probable : l'événement dangereux risque fort de causer un accident	3 : Certain : un accident est presque inévitable		
114	Probabilité d'occurrence du dommage	Négligeable : aucun incident prévisible	Improbable : aucun incident connu, mais occurrence possible		Probable : des incidents se sont produits	Très probable : des incidents sont quasi inévitables		

4.3.1 Terminologie

La probabilité du dommage est décrite comme la « *probabilité d'occurrence d'un événement dangereux* » dans l'outil 58, la « *fréquence d'occurrence* » dans l'outil 94, la « *probabilité* » dans les outils 35 et 7, le « *niveau de probabilité* » dans l'outil 34, la « *mesure qualitative de la probabilité* » dans l'outil 48, la « *fréquence d'occurrence annuelle acceptable de chaque niveau de gravité* » dans l'outil 10, la « *probabilité d'occurrence (d'une blessure)* » dans l'outil 33, et la « *fréquence d'occurrence de l'événement dangereux* » dans l'outil 66. Il conviendrait d'établir une terminologie uniforme à l'égard de ce paramètre.

4.3.2 Écarts de gradation

La majorité des outils utilisent des descriptions qualitatives à l'égard de ce paramètre. On constate cependant des problèmes de gradation entre les différents outils, ainsi qu'en témoignent les exemples suivants : l'outil 7 utilise « *Négligeable, Improbable, Possible, Probable, (Très) probable (pour Likely)* » ; l'outil 6 utilise « *Improbable, Négligeable, Possible, Probable, (Très) probable (pour Likely)/Fréquent* » ; l'outil 24 utilise « *Négligeable, Improbable, Probable (pour Likely), Très probable* » ; l'outil 3 utilise « *Très improbable, Improbable, Probable (pour Likely), Très probable* » ; l'outil 48 utilise « *Rare, Improbable, Possible, Probable (pour Likely), Occurrence quasi certaine* » et l'outil 41 utilise « *Hautement improbable, Improbable, Négligeable, Occasionnel, Probable, Hautement probable* ».

4.3.3 Nombre de niveaux

Tous les outils utilisent trois niveaux ou plus pour décrire ce paramètre. Les trois niveaux ou seuils d'équivalence les plus utilisés par les outils sont :

- Ph1 : occurrence quasi impossible (improbable) ;
- Ph4 : occurrence possible et prévisible ;
- Ph7 : certitude d'occurrences multiples (très probable).

4.3.4 Niveaux exprimés sous forme de mot unique

Deux outils (7 et 94) offrent peu d'éclairage sur la sélection des différents niveaux de ce paramètre, puisqu'ils décrivent chacun d'eux par un seul mot. Par ailleurs, les mots employés pour décrire leurs deux premiers niveaux se trouvent inversés (« *négligeable* » et « *improbable* » dans l'outil 7, et « *improbable* » et « *négligeable* » dans l'outil 94).

4.3.5 Définitions qualitatives et quantitatives

Certains outils accompagnent leurs définitions de descriptions visant à aider leurs utilisateurs. D'autres outils fournissent des définitions quantitatives assorties de probabilités de trois types :

- probabilité sur la durée de vie de l'élément (p. ex., outil 44) ;
- probabilité sur la durée de vie de l'individu (p. ex., outil 3) ;
- probabilité exprimée en termes d'années (p. ex., outil 10).

La probabilité sur la durée de vie de l'élément peut être problématique dans la mesure où cette durée de vie n'est pas précisée, et doit donc être présumée. Cela dit, la probabilité sur la durée de vie de l'individu peut aussi s'avérer problématique dans la mesure où les outils ne précisent pas s'il s'agit seulement de la vie active de l'individu ou non.

4.3.6 Outils combinant deux niveaux

Les outils 58 et 66 présentent un problème de construction dès lors qu'ils confondent Ph6 et Ph7. À titre d'exemple, l'outil 66 définit les deux niveaux suivants, qui sont équivalents :

- *Probable : certitude d'occurrences multiples. On peut s'attendre à ce que l'événement dangereux se produise souvent.*
- *Fréquent : probabilité d'occurrence fréquente. L'événement dangereux se produira de façon continue.*

De manière générale, le degré d'incertitude observé à l'égard de ce paramètre – par rapport à celui de la gravité – tend à rendre l'établissement de l'échelle d'équivalence et, par conséquent, la sélection des niveaux plus difficile pour l'utilisateur.

4.4 Échelle d'équivalence relative à la fréquence d'exposition

Le paramètre de fréquence d'exposition est utilisé dans 9 des 31 outils sélectionnés. L'échelle d'équivalence définie pour ce paramètre est présentée dans le Tableau 6. Le positionnement des outils a nécessité l'ajout de colonnes dans ce tableau, et en ce qui a trait aux outils 67 et 114, le niveau Exf8 a dû être défini pour tenir compte d'une exposition continue.

Tableau 6 : Échelle d'équivalence relative à la fréquence d'exposition

		Niveaux								
Outil	Fréquence d'exposition	Exf1 Fréquence inférieure à une fois par année	Exf2 Fréquence annuelle	Exf3 Fréquence mensuelle	Exf4 Fréquence hebdomadaire	Exf5 Fréquence quotidienne – de une à deux fois par jour	Exf6 De deux fois par jour à une fois aux deux heures	Exf7 De une fois aux deux fois par heure	Exf8 Plusieurs fois par heure	
49	Exposition	E1 : Exposition non fréquente (en général, exposition au phénomène dangereux moins d'une fois par jour ou par quart de travail)				E2 : Exposition fréquente (en général, exposition au phénomène dangereux plus d'une fois par heure)				
67	Intervalle moyen entre les expositions et durée de l'exposition	1- Intervalle de plus d'un an entre les expositions	2- Intervalle de plus de deux semaines, mais d'un an ou moins entre les expositions	3- Intervalle de plus d'un jour, mais de deux semaines ou moins entre les expositions	4- Intervalle de plus d'une heure, mais d'un jour ou moins entre les expositions. Lorsque la durée d'exposition est inférieure à 10 min, la valeur peut être réduite d'un niveau.			5- Intervalle d'une heure ou moins. Cette valeur ne doit être réduite en aucun cas.		
91	Fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux (F)	F1 : Deux fois ou moins par quart de travail, ou moins de 15 min d'expositions cumulées par quart de travail				F2 : Plus de deux fois par quart de travail, ou plus de 15 min d'expositions cumulées par quart de travail				
19	Fréquence d'exposition des personnes au phénomène dangereux	1 : Rare à assez fréquente				2 : Fréquente à continue				
53	Potentiel relié à la fréquence d'activité (PFA)	1 – Hebdomadaire				2 – Deux fois par jour au maximum		3 – Toutes les deux heures ou plus		

		Niveaux							
Outil	Fréquence d'exposition	Exf1 Fréquence inférieure à une fois par année	Exf2 Fréquence annuelle	Exf3 Fréquence mensuelle	Exf4 Fréquence hebdomadaire	Exf5 Fréquence quotidienne – de une à deux fois par jour	Exf6 De deux fois par jour à une fois aux deux heures	Exf7 De une fois aux deux heures à une fois par heure	Exf8 Plusieurs fois par heure
55	Fréquence d'exposition	4 – Improbable : si peu probable qu'on peut présumer que le phénomène dangereux ne se produira jamais	3 – Négligeable : annuelle ou au moins une fois pendant la durée de vie de la machine ou du système	2 – Occasionnelle : mensuelle		1 – Fréquente : quotidienne			
57	Fréquence	1 – Inférieure	2 – Annuelle	3 – Mensuelle	4 – Hebdomadaire	5 – Quotidienne			
69	Exposition au dommage	Faible : exposition rare ou de très courte durée au dommage				Moyenne : exposition fréquente ou de courte à prolongée au dommage			
114	Fréquence d'exposition	Rare : aucune exposition anticipée en cours d'utilisation normale	Occasionnelle : exposition possible en cours d'utilisation normale			Fréquente : exposition au moins une fois par jour		Continue : exposition à chaque utilisation ou en tout temps en cours d'utilisation	

L'établissement de l'échelle d'équivalence a donné lieu à la définition de huit seuils ou niveaux approximatifs :

- Exf1 : fréquence inférieure à une fois par année ;
- Exf2 : fréquence annuelle ;
- Exf3 : fréquence mensuelle ;
- Exf4 : fréquence hebdomadaire ;
- Exf5 : fréquence quotidienne – de une à deux fois par jour ;
- Exf6 : de deux fois par jour à une fois aux deux heures ;
- Exf7 : de une fois aux deux heures à une fois par heure ;
- Exf8 : plusieurs fois par heure (continue).

4.4.1 Terminologie

Différents outils définissent ce paramètre de différentes façons. Les outils 55 et 114, par exemple, font état de la « *fréquence d'exposition* », tandis que d'autres retiennent plutôt « *exposition* » (outil 49) ou « *exposition au dommage* » (outil 69) sans mention de fréquence. Ainsi un employé peut-il être aussi bien exposé pendant une heure que tout au long de son quart de travail. Il y a donc là un manque de précision quant à la fréquence ou au nombre de fois qu'un travailleur se trouve à risque. L'outil 53 propose une définition reliée au potentiel de fréquence de l'activité, sans lien avec la fréquence d'exposition. Cet outil ne fournit aucune indication quant au nombre de fois qu'un travailleur se trouve à risque. Certains outils ne fournissent d'ailleurs pas assez d'information pour permettre à l'utilisateur d'estimer adéquatement ce paramètre, ce qui peut donner lieu à des interprétations erronées lors de la sélection des niveaux.

4.4.2 Nombre de niveaux

La fréquence d'exposition est définie dans les différents outils selon deux, trois, quatre ou cinq niveaux. La plupart des outils qui utilisent ce paramètre s'en tiennent à deux niveaux ; c'est notamment le cas des outils 49, 91, 19 et 69. Le premier niveau de l'outil 19 est défini comme « *rare à assez fréquente* » alors que l'outil 49 le définit comme « *non fréquente* » et l'outil 69, comme « *faible* ». Quant au deuxième niveau, l'outil 19 le définit comme « *fréquente à continue* » alors que l'outil 49 le définit comme « *exposition fréquente* » et l'outil 69, comme « *moyenne* ». L'outil 91 définit les niveaux en termes de quart de travail et retient « *deux fois ou moins par quart de travail* » pour le premier, et « *plus de deux fois par quart de travail* » pour le second. L'outil 53 définit pour sa part trois niveaux : « *hebdomadaire* », « *deux fois par jour au maximum* » et « *toutes les deux heures ou plus* ». Enfin, les outils 55 et 114 définissent quatre niveaux à l'égard de ce paramètre, alors que les outils 57 et 67 en définissent cinq.

4.4.3 Niveaux exprimés sous forme de mot unique et définitions vagues

L'outil 57 définit les niveaux du paramètre de fréquence par un seul mot. Le nombre de fois qu'un travailleur est exposé à la situation dangereuse dans un cadre temporel donné n'est pas précisé, ce qui prête à interprétation pour l'utilisateur.

L'outil 19 utilise « *rare à assez fréquente* » et « *fréquente à continue* », mais ne spécifie aucune échelle de temps. Le nombre d'expositions par année, par mois, par semaine, par jour ou par tranche d'heures n'est pas mentionné, ce qui rend difficile l'estimation de ce paramètre et ouvre la voie à des incohérences dans l'estimation du risque.

L'outil 53 utilise « *hebdomadaire* » comme premier niveau, mais sans préciser de nombre d'expositions. Il en résulte un manque de clarté, puisqu'un travailleur peut être exposé à des situations dangereuses une ou plusieurs fois par semaine. Il appartient donc à chaque utilisateur de définir le nombre d'expositions possibles, et chaque utilisateur est susceptible de l'interpréter différemment.

4.5 Échelle d'équivalence relative à la durée d'exposition

Ce paramètre est utilisé dans 5 des 31 outils sélectionnés. L'échelle d'équivalence définie pour ce paramètre est présentée dans le Tableau 7. Le positionnement des outils a nécessité l'ajout de colonnes dans ce tableau, et en ce qui a trait aux outils 17, 19 et 62, le niveau Exd5 a dû être défini pour tenir compte d'une durée d'exposition continue.

Tableau 7 : Échelle d'équivalence relative à la durée d'exposition

Outil	Durée d'exposition	Niveaux				
		Exd1 : < 1/20 du temps de travail (quart)	Exd2 : 1/10 du temps de travail (45 min/8 h)	Exd3 : 1/5 du temps de travail (90 min/8 h)	Exd4 : 1/2 du temps de travail (4 h/8 h)	Exd5 : Continue durant le temps de travail
62	Indice de fréquence et durée de l'exposition aux phénomènes dangereux (e)	- e = 1 : 2 heures/ semaine (1 jour/mois)	- e = 2 : 4 heures/ semaine (1/2 jour/semaine)	e = 3 : 8 heures/ semaine (1 jour/semaine)	- e = 4 : 20 heures/ semaine (Mi-temps)	- e = 5 : 40 heures/ semaine (Temps complet)
69	Durée (d'exposition) au dommage	Faible : exposition rare ou de très courte durée au dommage	Moyenne : exposition fréquente ou de courte à prolongée au dommage			
91	Durée d'exposition au phénomène dangereux (F)	F1 : Deux fois ou moins par quart de travail, ou moins de 15 min d'expositions cumulées par quart de travail	F2 : Plus de deux fois par quart de travail, ou plus de 15 min d'expositions cumulées par quart de travail			
17	Exposition au phénomène dangereux (% du temps par journée de 24 h)	Inférieure ou égale à 1 %	De plus de 1 % jusqu'à 25 %			De plus de 25 % jusqu'à 100 % Nota : 25 % correspond à une exposition continue au phénomène dangereux pendant un quart de 8 heures
19	Durée d'exposition des personnes au phénomène dangereux	Rare à assez fréquente				Fréquente à continue

L'établissement de l'échelle d'équivalence à l'égard du paramètre de durée d'exposition a donné lieu à la définition de cinq seuils approximatifs :

- Exd1 : $< 1/20$ du temps de travail ;
- Exd2 : $1/10$ du temps de travail (45 min par quart de 8 heures) ;
- Exd3 : $1/5$ du temps de travail (90 min par quart de 8 heures) ;
- Exd4 : $1/2$ du temps de travail (4 heures par quart de 8 heures) ;
- Exd5 : exposition continue durant le temps de travail.

4.5.1 Terminologie

Ce paramètre est défini de façon uniforme et adéquate. Par exemple, l'outil 69 utilise « *durée (d'exposition) au dommage* », l'outil 91 « *durée d'exposition au phénomène dangereux* » et l'outil 19 « *durée d'exposition des personnes au phénomène dangereux* ». Les définitions retenues à l'égard de ce paramètre sont donc claires.

4.5.2 Nombre de niveaux

Trois outils utilisent deux niveaux pour définir le paramètre de durée d'exposition. Les outils 69 et 91 utilisent « *exposition de courte durée* » pour le premier et « *exposition prolongée* » pour le second. L'outil 19 utilise pour sa part « *rare à assez fréquente* » et « *fréquente à continue* », ce qui ne définit en fait nullement la durée d'exposition. Quant à l'outil 62, il définit cinq niveaux qui correspondent à des temps d'exposition effectifs.

4.5.3 Définitions vagues relatives aux niveaux du paramètre de durée d'exposition

Cinq outils de l'échantillon utilisent le paramètre de durée d'exposition. L'absence d'échelle temporelle constitue un problème pour les utilisateurs. L'outil 69 retient « *exposition de très courte durée* » et « *exposition de courte à prolongée* » pour définir les deux niveaux du paramètre de durée d'exposition. L'outil 17 définit quant à lui ce paramètre sous forme de pourcentage, mais mentionne que « *25 % correspond à une exposition continue au phénomène dangereux pendant un quart de 8 heures* », ce qui est inexact.

4.6 Échelle d'équivalence relative à la possibilité d'évitement

Le paramètre de possibilité d'évitement du dommage est utilisé dans 8 des 31 outils sélectionnés. L'échelle d'équivalence définie pour ce paramètre est présentée dans le Tableau 8. Le positionnement des outils a nécessité l'ajout de colonnes dans ce tableau, et en ce qui a trait aux outils 57, 67, 91 et 114, le niveau A6 a dû être défini pour tenir compte d'une éventuelle impossibilité d'évitement.

Tableau 8 : Échelle d'équivalence relative à la possibilité d'évitement

Outil	Possibilité d'évitement	Niveaux					
		A1 Facile	A2 Probable	A3 Possible	A4 Possible sous certaines conditions	A5 Improbable	A6 Impossible
49	Évitement	A1 : Probable (possibilité de s'écarter de la trajectoire, temps de réaction ou délai d'avertissement suffisant, ou vitesse du robot inférieure à 250 mm/sec)				A2 : Improbable (impossibilité de s'écarter de la trajectoire, temps de réaction insuffisant, ou vitesse du robot supérieure à 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	Possibilité d'éviter ou de limiter le dommage	1 Probable. P. ex. il est probable qu'on puisse, dans la majorité des cas, éviter tout contact avec des parties en mouvement derrière un protecteur verrouillé advenant une défaillance du verrouillage alors que les parties demeurent en mouvement		3 Possible. P. ex. il est possible d'échapper à un danger d'enchevêtrement à faible vitesse		5 Impossible. P. ex. il est impossible d'échapper au danger d'inhalation d'un gaz dangereux en l'absence de tout panneau de mise en garde	
91	Possibilité d'évitement ou de réduction du dommage	A1 : Possible sous certaines conditions : lorsque les parties en mouvement le sont à une vitesse de moins de 0,25 m/s et que le travailleur exposé connaît bien le risque et les indications de situation dangereuse ou d'événement dangereux imminent ; dans certaines conditions particulières (température, bruit, ergonomie, etc.)				A2 : Impossible	
19	Évitement – Possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage	1 : Possible sous certaines conditions précises			2 : Difficilement possible		
57	Évitement	1 – Évident	2 – Probable	3 – Possible		4 – Rare	5 – Impossible
69	Évitement du dommage	Évitable : le dommage peut normalement être évité				Inévitable : l'évitement du dommage est rarement possible, sinon impossible	

		Niveaux					
Outil	Possibilité d'évitement	A1 Facile	A2 Probable	A3 Possible	A4 Possible sous certaines conditions	A5 Improbable	A6 Impossible
114	Possibilité d'éviter ou de limiter le dommage	Possible : pour toutes les personnes exposées		Possible avec formation : possible pour les personnes formées à reconnaître les avertissements et la meilleure façon de réagir, pourvu que l'avertissement laisse suffisamment de temps		Difficile : possible, mais l'avertissement peut ne pas être évident ou ne laisser que peu de temps pour réagir	Impossible : aucun avertissement et/ou temps insuffisant pour réagir

L'établissement de l'échelle d'équivalence à l'égard de ce paramètre a donné lieu à la définition de six seuils approximatifs :

- A1 : facile ;
- A2 : probable ;
- A3 : possible ;
- A4 : possible sous certaines conditions ;
- A5 : improbable ;
- A6 : impossible.

4.6.1 Terminologie

Les définitions fournies par les outils à l'égard de ce paramètre sont claires. À titre d'exemple, l'outil 69 utilise « *évitement du dommage* », l'outil 91 utilise « *possibilité d'évitement ou de réduction du dommage* », l'outil 19 utilise « *évitement – possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage* », et l'outil 67 utilise « *possibilité d'éviter ou de limiter le dommage* ».

4.6.2 Nombre de niveaux

Les outils 49, 69 et 91 définissent deux niveaux à l'égard du paramètre de possibilité d'évitement. Pour le premier niveau, l'outil 49 utilise « *probable* », l'outil 69 utilise « *évitable* », et l'outil 91 utilise « *possible* ». Pour le deuxième niveau, l'outil 49 utilise « *improbable* », l'outil 69 utilise

« *difficilement possible* », et l'outil 91 utilise « *impossible* ». Les outils 62 et 67 définissent trois niveaux, l'outil 114 en définit quatre, et l'outil 57 en définit cinq.

4.6.3 Définitions vagues relatives aux niveaux du paramètre d'évitement

L'outil 19 utilise « *possible sous certaines conditions précises* » et « *difficilement possible* » pour définir les deux niveaux de ce paramètre. Ces deux énoncés restent imprécis en l'absence de toute information propre à guider l'utilisateur dans le choix d'un niveau. D'autres définitions vagues sont celles de l'outil 69, qui utilise « *le dommage peut normalement être évité* » et « *l'évitement du dommage est rarement possible, sinon impossible* » pour décrire les deux niveaux retenus.

4.6.4 Niveaux exprimés sous forme de mot unique

L'outil 57 définit les niveaux du paramètre de possibilité d'évitement par un seul mot. Comme il a été mentionné précédemment, l'emploi de mots uniques ajoute à la difficulté du processus d'estimation du paramètre et ouvre la voie à diverses interprétations par différents utilisateurs.

4.7 Échelle d'équivalence relative à la probabilité de l'événement dangereux

Le paramètre de probabilité de l'événement dangereux est utilisé dans 8 des 31 outils sélectionnés. L'échelle d'équivalence définie pour ce paramètre est présentée dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Échelle d'équivalence relative à la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux

Outil	Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux	Niveaux				
		Pe1 Négligeable	Pe2 Rare	Pe3 Possible	Pe4 Probable	Pe5 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)

Outil	Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux	Niveaux				
		Pe1 Négligeable	Pe2 Rare	Pe3 Possible	Pe4 Probable	Pe5 Fréquent
67	Probabilité d'occurrence d'un événement présentant un danger	1 : Négligeable. P. ex. ce type de composante ne défaille jamais de sorte à provoquer un événement dangereux. Aucune possibilité d'erreurs humaines	2 : Rare. P. ex. il est improbable que ce type de composante défaille de sorte à provoquer un événement dangereux. Des erreurs humaines sont improbables.	3 : Possible. P. ex. ce type de composante pourrait défaille de sorte à provoquer un événement dangereux. Des erreurs humaines sont possibles.	4 : Probable. P. ex. on peut s'attendre à ce que ce type de composante défaille de sorte à provoquer un événement dangereux. Des erreurs humaines sont probables.	5 : Très élevée. P. ex. ce type ne composé n'est pas conçu pour cette application. Il défaille vraisemblablement de sorte à provoquer un événement dangereux. Le comportement humain est tel que la probabilité d'erreurs est très élevée.
91	Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (O)	O1 : Technologie mature, éprouvée et reconnue dans les applications de sécurité ; robuste		O2 : Défaillance technique observée au cours des deux dernières années ; intervention inappropriée d'une personne dûment formée, consciente du risque et ayant plus de six mois d'expérience à son poste de travail	O3 : Défaillance technique observée de façon régulière (tous les six mois ou moins) ; intervention inappropriée d'une personne non formée ayant moins de six mois d'expérience à son poste de travail ; accidents similaires observés dans l'usine depuis dix ans	
17	Risque d'occurrence d'un événement dangereux (niveau de probabilité)	Extrêmement faible – 1 sur un million Improbable – 1 sur 100 000	Négligeable – 1 sur 10 000	Occasionnel – 1 sur 1 000	Probable – 1 sur 100	Fréquent – 1 sur 10
19	Probabilité d'occurrence d'un événement pouvant causer un dommage	1 : Faible – si peu probable qu'on peut présumer que l'événement dangereux ne se produira jamais		2 : Moyenne – occurrence vraisemblable durant le cycle de vie d'un élément		3 : Élevée – probabilité d'occurrence fréquente
53	Potentiel relié à l'activité	1 – Faible		2 – Moyen		3 – Haut
57	Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux	1 – Négligeable	2 – Rare	3 – Possible	4 – Probable	5 – Courant

Outil	Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux	Niveaux				
		Pe1 Négligeable	Pe2 Rare	Pe3 Possible	Pe4 Probable	Pe5 Fréquent
69	Probabilité/plausibilité d'occurrence	Faible : un dommage ne surviendra que très rarement		Moyenne : un dommage est possible, mais évitable	Élevée : un dommage résultera essentiellement d'une exposition	

L'établissement de l'échelle d'équivalence à l'égard de ce paramètre a donné lieu à la définition de cinq seuils approximatifs :

- Pe1 : négligeable ;
- Pe2 : rare ;
- Pe3 : possible ;
- Pe4 : probable ;
- Pe5 : fréquent.

Le positionnement des outils a nécessité l'ajout de colonnes dans ce tableau, et en ce qui a trait aux outils 17, 57, 62 et 67, le niveau Pe5 a dû être défini pour inclure le niveau « *fréquent* ».

4.7.1 Terminologie

Les outils 91 et 57 définissent ce paramètre comme la « *probabilité d'occurrence de l'événement dangereux* », l'outil 19 comme la « *probabilité d'occurrence d'un événement pouvant causer un dommage* », et l'outil 67 comme la « *probabilité d'occurrence d'un événement présentant un danger* ». Ainsi les définitions de ce paramètre sont-elles claires, sauf dans le cas de l'outil 53, qui le définit comme le « *potentiel reliée à l'activité* ».

4.7.2 Nombre de niveaux

Le paramètre de probabilité d'occurrence de l'événement dangereux est défini selon trois ou cinq niveaux. Quatre outils (19, 53, 69 et 91) le définissent selon trois niveaux. Les trois premiers outils utilisent « *faible* » pour définir le premier niveau, tandis que l'outil 91 utilise « *technologie mature* ». Pour le deuxième niveau, les outils 19 et 53 utilisent « *moyenne (pour medium)* », l'outil 69 utilise « *moyenne (pour middle)* », et l'outil 91 utilise « *défaillance technique observée au cours des deux dernières années* ». Pour le troisième niveau, les trois premiers outils utilisent « *élevée* », et l'outil 91 utilise « *défaillance technique observée ou intervention inappropriée d'une personne non formée ayant moins de six mois d'expérience* ».

Les outils 17, 57, 62 et 67 définissent ce paramètre selon cinq niveaux cohérents. Pour le premier niveau, l'outil 17 utilise « *extrêmement faible* », les outils 57 et 67 utilisent « *négligeable* », et l'outil 62 utilise « *événement inimaginable* ». Pour le deuxième niveau, les définitions des quatre outils sont « *négligeable* », « *rare* », « *événement imaginable* » et « *rare* », respectivement. Pour

le troisième niveau, l'outil 17 utilise « *occasionnel* », l'outil 57 utilise « *possible* », l'outil 62 utilise « *événement possible* », et l'outil 67 utilise « *possible* ». Pour le quatrième niveau, l'outil 17 utilise « *probable (pour probable)* », l'outil 57 utilise « *probable (pour likely)* », l'outil 62 utilise « *on peut s'attendre à ce que l'événement se produise* », et l'outil 67 utilise « *probable (pour likely)* ». Pour le cinquième niveau, l'outil 17 utilise « *fréquent* », l'outil 57 utilise « *courant* », l'outil 62 utilise « *il faut s'attendre à ce que l'événement se produise* », et l'outil 67 utilise « *très élevée* ».

4.7.3 Niveaux exprimés sous forme de mot unique et définitions vagues

Les outils 53 et 57 définissent les niveaux du paramètre de probabilité d'occurrence de l'événement dangereux par un seul mot. L'utilisation de mots uniques rend ici l'estimation du paramètre moins précise. L'outil 17 définit ce paramètre selon de vagues probabilités. Or, l'utilisation de probabilités reste subjective étant donné que chaque utilisateur peut les interpréter différemment.

4.8 Résultats de l'estimation du risque dans les différentes situations dangereuses

Cette section porte sur la présentation et l'analyse des résultats de l'estimation du risque dans les différentes situations dangereuses. Les résultats de l'estimation du risque en lien avec les 20 scénarios retenus en utilisant chacun des 31 outils d'estimation du risque de l'échantillon sont reproduits dans le Tableau 10. Le risque global moyen est de 69,4 %, avec un écart-type de 24,8 %.

4.8.1 Analyse des scénarios

La première analyse portait sur la détection d'écarts dans la distribution des niveaux de risque obtenus entre les différents outils et scénarios. Le risque moyen pour les 20 scénarios a d'abord été calculé. Les 20 scénarios ont ensuite été classés selon les niveaux de risque, à savoir des scénarios à faible risque aux scénarios à risque élevé, d'après la moyenne des niveaux de risque obtenus au moyen des 31 outils, comme l'indique le Tableau 10. Le scénario T a le plus faible écart-type (8,2 %) de tous les scénarios et diffère statistiquement des autres scénarios à un niveau de signification de 5 %.

Tableau 10 : Niveaux de risque des scénarios

Outil n°	Scénario n°																				Moyenne par outil
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
17	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	50,0	25,0	50,0	100,0	25,0	50,0	75,0	25,0	75,0	37,5
45	20,0	20,0	20,0	40,0	20,0	20,0	40,0	40,0	20,0	40,0	60,0	60,0	40,0	40,0	60,0	40,0	40,0	80,0	60,0	100,0	43,0
6	50,0	25,0	25,0	50,0	25,0	25,0	50,0	50,0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	75,0	75,0	45,0
85	28,6	14,3	14,3	28,6	42,9	42,9	28,6	28,6	42,9	42,9	57,1	57,1	57,1	57,1	57,1	57,1	57,1	42,9	71,4	85,7	45,7
19	25,0	25,0	50,0	25,0	25,0	50,0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	75,0	50,0	75,0	50,0	75,0	100,0	50,0
91	33,3	66,7	50,0	33,3	33,3	50,0	66,7	33,3	66,7	50,0	33,3	33,3	33,3	50,0	33,3	50,0	66,7	100,0	33,3	100,0	50,8
46	40,0	20,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	80,0	80,0	100,0	53,0
66	25,0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	75,0	75,0	50,0	75,0	75,0	100,0	75,0	75,0	56,3
1	50,0	16,7	50,0	50,0	50,0	33,3	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	83,3	83,3	50,0	83,3	83,3	50,0	83,3	58,3
89	50,0	50,0	50,0	66,7	50,0	50,0	66,7	66,7	50,0	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	83,3	66,7	63,1
62	33,3	66,7	66,7	33,3	66,7	33,3	33,3	33,3	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	100,0	66,7	100,0	66,7	66,7	100,0	63,3
44	25,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	100,0	63,8
69	27,3	54,5	72,7	18,2	54,5	72,7	45,5	45,5	81,8	72,7	54,5	63,6	63,6	72,7	72,7	72,7	90,9	63,6	81,8	100,0	64,1
102	83,3	33,3	50,0	83,3	50,0	50,0	83,3	83,3	50,0	50,0	50,0	50,0	33,3	83,3	50,0	83,3	83,3	83,3	83,3	100,0	65,8
33	66,7	33,3	66,7	66,7	66,7	33,3	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	100,0	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	100,0	100,0	68,4
58	66,7	66,7	33,3	66,7	33,3	33,3	66,7	66,7	33,3	66,7	66,7	100,0	100,0	100,0	66,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	71,7
3	20,0	20,0	80,0	60,0	80,0	80,0	60,0	60,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	100,0	80,0	100,0	73,0
114	66,7	100,0	33,7	66,7	33,3	100,0	66,7	100,0	100,0	66,7	100,0	66,7	33,3	33,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	78,4
10	16,7	33,3	66,7	100,0	66,7	66,7	66,7	66,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	83,3	100,0	83,3	83,3	66,7	100,0	80,0
94	75,0	50,0	50,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	75,0	75,0	100,0	75,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0
34	66,7	33,3	66,7	100,0	66,7	33,3	100,0	100,0	66,7	66,7	66,7	66,7	100,0	100,0	66,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0
53	26,7	93,3	86,7	73,3	73,3	86,7	93,3	80,0	86,7	86,7	73,3	80,0	80,0	80,0	80,0	86,7	93,3	100,0	80,0	93,3	81,7
41	66,7	66,7	33,3	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	81,7
55	25,0	50,0	100,0	50,0	100,0	100,0	50,0	50,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	50,0	100,0	100,0	83,8
49	57,1	100,0	85,7	66,7	71,4	85,7	85,7	100,0	100,0	85,7	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4	85,7	100,0	100,0	100,0	100,0	84,0
24	75,0	50,0	50,0	100,0	75,0	75,0	100,0	100,0	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	100,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	85,0
35	75,0	50,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	86,3
48	75,0	50,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	86,3
57	50,0	100,0	100,0	50,0	100,0	100,0	50,0	50,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0
7	66,7	66,7	66,7	100,0	66,7	66,7	100,0	100,0	66,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0
67	66,7	100,0	100,0	33,3	100,0	100,0	66,7	66,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	91,7
Moyenne	47,7	50,2	56,7	57,6	59,4	59,5	61,9	61,9	65,6	66,6	72,5	73,6	74,8	76,4	77,4	78,5	82,9	83,3	85,0	96,4	69,4
Écart-type	21,3	27,1	24,3	22,4	23,7	24,7	21,4	23,3	24,1	21,6	22,4	19,8	24,9	20,6	20,7	21,1	18,5	19,9	19,8	8,2	24,8

Les 20 scénarios peuvent être classés selon un niveau de risque faible, moyennement faible, moyennement élevé ou élevé en fonction du nombre de fois qu'ils ont été évalués comme présentant le niveau de risque le plus faible ou le plus élevé par les 31 outils. Le Tableau 11 fait état du nombre de fois que chaque scénario a été évalué comme présentant le niveau de risque le plus faible ou le plus élevé, ainsi que de la moyenne, de l'écart-type et d'une valeur normalisée pour chacun d'eux. Le Tableau 12 présente les critères ainsi obtenus aux fins de regroupement des scénarios par catégorie. Une analyse de variance (ANOVA) des divers groupes a révélé que les catégories de scénarios de risque présentaient des moyennes significativement différentes ($F=61,283$ et $p=0,000$). Un test de Duncan a par ailleurs confirmé que toutes les moyennes étaient différentes. Les résultats relatifs aux quatre catégories de scénarios sont analysés ci-après.

Tableau 11 : Fréquence du niveau de risque le plus faible et le plus élevé par scénario

Catégorie	Scénario	Dénombrement des niveaux de risque		Risque moyen	Écart-type	Valeur normalisée
		Le plus faible	Le plus élevé			
Faible	A	11	0	47,7	21,3	-0,88
	B	11	4	50,2	27,1	-0,78
	C	8	3	56,7	24,3	-0,51
Moyennement faible	D	4	3	57,6	22,4	-0,48
	E	6	4	59,4	23,7	-0,40
	F	7	4	59,5	24,7	-0,40
	G	3	3	61,9	21,4	-0,30
	H	4	6	61,9	23,3	-0,30
	I	3	5	65,6	24,1	-0,15
	J	2	5	66,6	21,6	-0,11
Moyennement élevé	K	1	10	72,5	22,4	0,13
	L	0	9	73,6	19,8	0,17
	M	2	12	74,8	24,9	0,22
	N	1	10	76,4	20,6	0,28
	O	1	12	77,6	20,5	0,33
	P	1	11	78,5	21,1	0,37
Élevé	Q	0	13	82,9	18,5	0,55
	R	1	16	83,3	19,9	0,56
	S	1	16	85,0	19,8	0,63
	T	0	25	96,4	8,2	1,09

Tableau 12 : Scénarios par catégorie

Catégorie de risque	Dénombrement des niveaux de risque		Scénarios	Plage de valeurs normalisées
	Le plus faible	Le plus élevé		
Faible	≥ 8	≤ 4	A à C	Moins de -0,5
Moyennement faible	≤ 7	≤ 6	D à J	Entre -0,5 et 0
Moyennement élevé	≤ 2	> 6 and ≤ 12	K à P	Entre 0 et +0,5
Élevé	≤ 1	≥ 13	Q à T	Plus de +0,5

4.8.1.1 Scénarios à risque faible

Des 20 scénarios, 3 (A, B et C) sont tenus pour être à risque faible, avec un niveau de risque moyen de 51,5 % et un écart-type de 24,4 %. Ces scénarios correspondent à des situations de phénomène dangereux mécanique ou de phénomène dangereux engendré par les rayonnements susceptible de provoquer un dommage ne constituant pas un danger de mort. La moyenne et l'écart-type varient de 47,7 % à 56,7 % et de 21,3 % à 27,1 %, respectivement, pour les scénarios de cette catégorie. On a d'abord constaté que peu de scénarios ne s'étaient pas vu attribuer les deux niveaux de risque extrêmes (le plus faible et le plus élevé). Lors de l'estimation du risque du scénario A avec les 31 outils, on a en outre constaté qu'aucun des outils n'avait estimé son niveau de risque selon la valeur la plus élevée et que seulement un tiers des outils l'avaient estimé selon la valeur la plus faible. Quant aux scénarios B et C, ils s'étaient vu attribuer le

niveau de risque le plus élevé par 4 et 3 outils, respectivement, inclusion faite des outils 57 et 67 dans les deux cas.

4.8.1.2 Scénarios à risque moyennement faible

La deuxième catégorie correspond à un niveau de risque moyennement faible, avec un niveau de risque moyen de 61,8 % et un écart-type de 22,9 %, et regroupe les scénarios D à J. Les phénomènes dangereux mécaniques ou engendrés par le non-respect des principes ergonomiques, par les matériaux et les produits, par le bruit ou par des fluides sous haute pression sont de ceux auxquels un individu est exposé dans ces scénarios. Ici encore, il ne s'agit pas de situations constituant un danger de mort, quoique certaines puissent causer un dommage irréversible (perte de l'ouïe ou de la vue). La moyenne et l'écart-type varient de 57,6 % à 66,6 % et de 21,4 % à 24,7 %, respectivement, pour les scénarios de cette catégorie. Les outils 6, 17, 19 et 45 sont ceux qui ont fourni les niveaux de risque les plus faibles, les plus élevés ayant été estimés par les outils 55, 57 et 67.

4.8.1.3 Scénarios à risque moyennement élevé

La catégorie moyenne-élevée compte 6 scénarios (K à P) couvrant les risques de chute et les phénomènes dangereux mécaniques, thermiques ou engendrés par les vibrations. Cela dit, dans certains des scénarios, le dommage possible pouvait aussi être l'amputation ou le décès. Le risque global moyen de cette catégorie est de 75,5 %, avec un écart-type de 21,4 %. La moyenne et l'écart-type varient de 72,5 % à 78,5 % et de 19,8 % à 24,9 %, respectivement, pour les scénarios de cette catégorie. Dans cette catégorie, les outils 17, 91 et 114 sont ceux qui ont estimé les valeurs de risque les plus faibles, à raison de 3, 4 et 2 fois, respectivement, comme l'indique le Tableau 10. Et sept outils (7, 35, 41, 48, 55, 57 et 67) ont attribué le niveau de risque le plus élevé ou celui qui suivait immédiatement aux scénarios de ce groupe.

4.8.1.4 Scénarios à risque élevé

La dernière catégorie regroupe 4 scénarios à risque très élevé (Q à T) avec un niveau de risque moyen de 86,9 % et un écart-type de 17,9 %. Ces scénarios pouvaient entraîner l'amputation ou le décès sous l'effet de phénomènes dangereux mécaniques, thermiques ou engendrés par les matériaux et les produits. La moyenne et l'écart-type varient de 82,9 % à 96,4 % et de 8,2 % à 19,9 %, respectivement, pour les scénarios de cette catégorie. L'écart-type se trouve ici être le plus faible des quatre catégories. Fait intéressant, l'outil 17 a attribué le niveau de risque le plus faible au scénario S, tandis que l'outil 16 a attribué le niveau de risque le plus élevé à ce même scénario. Le scénario T présente le plus faible écart-type (8,2 %) de la catégorie du fait que la majorité des outils lui attribuent le niveau de risque le plus élevé.

4.8.2 Analyse des outils

Une analyse comparable a également été effectuée à l'égard des outils. Le diagramme à surfaces fourni à la Figure 4 offre une représentation visuelle de l'ensemble des données en montrant la médiane (losange), le Q1 ou 25^e quartile et le Q3 ou 75^e quartile (barres jaunes) ainsi que les valeurs minimales et maximales (simples traits). Une médiane de 100 % est possible lorsque plus de la moitié des points de données ont la même valeur maximale. Lorsque c'est le cas, comme

pour les outils 7, 55, 57, 67 et 114, la médiane, le Q3 et la valeur maximale sont tous égaux. Le Tableau 13 affiche le nombre de fois qu'un outil a estimé le niveau de risque le plus faible ou le plus élevé dans le cadre des 20 scénarios. À cet égard, il n'est pas évident de dégager des critères permettant de regrouper les outils selon la fréquence d'estimation du niveau de risque le plus faible ou le plus élevé, ou en comparant le risque moyen découlant des différents outils au risque global moyen de 69,4 %. Cependant, les outils peuvent être regroupés en trois catégories sur la base de la valeur normalisée, selon qu'ils fournissent des estimations faibles, intermédiaires ou élevées. Les outils du groupe d'estimation faible ont une valeur normalisée inférieure à -0,3 ; les outils du groupe d'estimation intermédiaire ont une valeur normalisée qui se situe entre -0,3 et 0,3 ; et les outils du groupe d'estimation élevée ont une valeur normalisée supérieure à 0,3. Une analyse de variance a révélé l'existence de différences significatives entre les moyennes des groupes ($F=176,6$ et $p=0,000$), ce qu'a permis de corroborer un test de Duncan. Les résultats relatifs aux trois catégories d'outils sont analysés ci-après.

4.8.2.1 Outils d'estimation faible

Les outils d'estimation faible sont ceux pour lesquels le risque moyen des scénarios est inférieur à la moyenne globale. Les 9 outils de cette catégorie (1, 6, 17, 19, 45, 46, 66, 85 et 91) affichent une moyenne de 48,8 % pour un écart-type de 20,6 %. La moyenne et l'écart-type des différents outils varient de 37,5 % à 58,3 % et de 15,5 % à 21,8 %, respectivement. De plus, ils n'estiment pas plus d'une fois le risque au niveau le plus élevé à l'égard des scénarios (sauf dans le cas de l'outil 91), et ce, bien que quatre scénarios aient préalablement été définis comme étant à risque élevé.

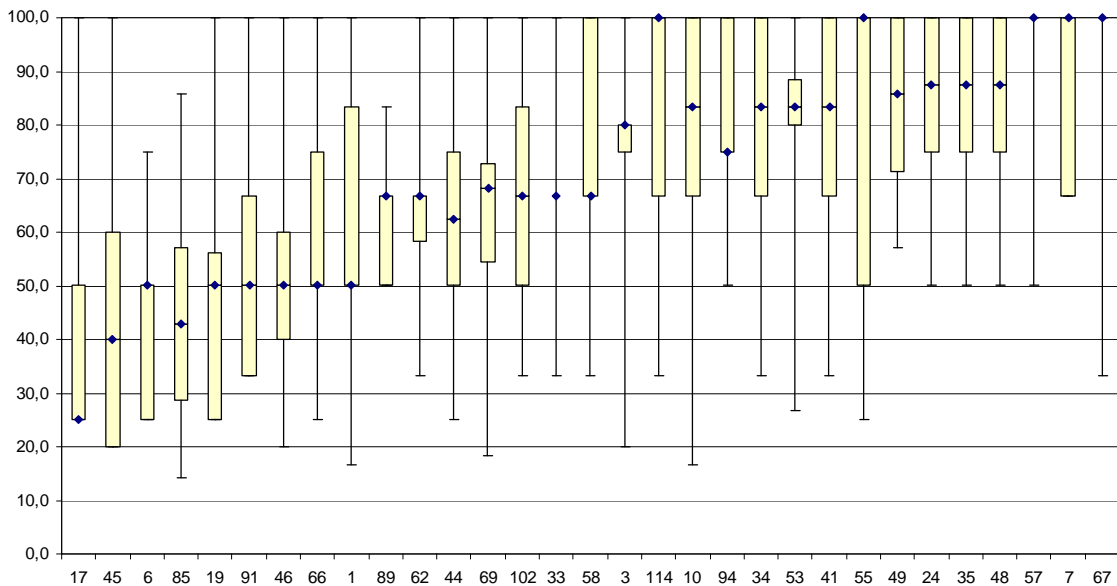


Figure 4 : Diagramme à surfaces du risque par outil

LÉGENDE : losange (médiane), barre jaune (Q1 ou 25^e quartile et Q3 ou 75^e quartile) ; simple trait (valeurs minimale et maximale)

Tableau 13 : Fréquence du niveau de risque le plus faible et le plus élevé par outil

Groupe	Outil n°	Dénombrement des niveaux de risque		Risque moyen	Écart-type	Valeur normalisée
		Le plus faible	Le plus élevé			
Outils d'estimation faible	17	14	1	37,5	22,2	-1,29
	45	6	1	43,0	21,8	-1,06
	6	6	0	45,0	15,4	-0,98
	85	2	0	45,7	18,3	-0,96
	19	6	1	50,0	21,5	-0,78
	91	9	2	50,8	21,3	-0,75
	46	1	1	53,0	18,7	-0,66
	66	3	1	56,3	19,7	-0,53
	1	1	1	58,3	20,6	-0,45
Outils d'estimation intermédiaire	89	0	0	63,1	10,2	-0,26
	62	5	3	63,3	21,4	-0,24
	44	1	2	63,8	19,0	-0,23
	69	0	1	64,1	19,9	-0,21
	102	0	1	65,8	20,6	-0,14
	33	2	3	68,4	17,0	-0,04
	58	4	7	71,7	24,8	0,09
	3	2	2	73,0	20,8	0,15
Outils d'estimation élevée	114	4	11	78,4	27,1	0,36
	10	1	9	80,0	23,9	0,43
	94	0	6	80,0	15,4	0,43
	34	2	10	80,0	22,7	0,43
	53	0	1	81,7	15,0	0,49
	41	1	10	81,7	20,2	0,50
	55	1	14	83,8	26,0	0,58
	49	0	7	84,0	14,1	0,59
	24	0	10	85,0	17,0	0,63
	35	0	10	86,3	15,1	0,68
	48	0	10	86,3	15,1	0,68
	57	4	16	90,0	20,5	0,83
	7	0	14	90,0	15,7	0,83
67	1	16	91,7	18,3	0,90	

4.8.2.2 Outils d'estimation intermédiaire

Les outils de cette catégorie (3, 33, 44, 58, 62, 69, 89 et 102) affichent une moyenne de 66,6 % pour un écart-type de 19,5 % relativement à l'estimation du niveau de risque des scénarios. La moyenne et l'écart-type varient de 63,4 % à 73,0 % et de 10,2 % à 24,8 %, respectivement, pour les outils de ce groupe. Fait intéressant, 6 des 8 outils de cette catégorie reposent sur des matrices à 2 paramètres, les 2 autres outils (62 et 69) faisant appel à des matrices à 4 paramètres. L'outil 89 n'attribue son niveau de risque le plus faible ou le plus élevé à aucun des scénarios, et il affiche le plus faible écart-type (10,2 %) de tous les outils ; il produit des niveaux de risque variant de 50,0 % à un maximum de 83,3 % à l'égard des différents scénarios.

4.8.2.3 Outils d'estimation élevée

Les 14 outils d'estimation élevée (7, 10, 24, 34, 35, 41, 48, 49, 53, 55, 57, 67, 94 et 114) affichent une moyenne de 84,2 % pour un écart-type de 19,5 %. La moyenne et l'écart-type varient de 78,3 % à 91,7 % et de 14,1 % à 27,1 %, respectivement, pour les outils de ce groupe. Il convient de mentionner que l'outil 114 estime un niveau de risque faible à l'égard des scénarios M et N, alors que les autres outils ont tendance à leur attribuer un niveau de risque élevé. Par ailleurs, les outils 7, 57 et 67 sont ceux qui produisent les plus hauts niveaux de risque parmi les outils de cette catégorie, avec une moyenne variant entre 90,0 % et 91,7 %. Les outils de ce groupe couvrent l'ensemble des configurations d'outil examinées à la section suivante.

4.8.3 Incidence des configurations d'outil

Cette section examine l'incidence des paramètres utilisés par les différents outils sur le niveau de risque estimé. Le Tableau 14 présente les résultats obtenus par configuration d'outil. Sur le plan statistique, il n'y a pas de différence significative entre les configurations lorsqu'on applique une analyse de variance à un facteur aux moyennes de l'échantillon ($F=1,314$ et $p=0,269$). Il en découle qu'il n'y a pas de différence notable entre les outils qui utilisent les deux paramètres de base et les autres configurations.

4.8.3.1 Outils utilisant les deux paramètres de base (S et Ph)

Aux fins de la présente étude, cette configuration a été tenue pour la première « configuration standard » aux termes de l'ISO 14121-1 (voir section 1.3). Il a été observé que 20 des 31 outils analysés utilisaient les deux paramètres de base (S et Ph). La moyenne de ces 20 outils appliqués aux scénarios est de 68,8 %, avec un écart-type de 23,5 %. Le niveau de risque moyen des 20 scénarios diffère passablement parmi les outils de ce groupe, et varie entre 38,3 % et 96,0 %. Au bas de l'échelle, les outils 6 et 45 affichent un niveau de risque moyen d'environ 44 %, tandis qu'au haut de l'échelle, les outils 7 et 48 affichent un niveau de risque moyen de 88 %.

Tableau 14 : Niveaux de risque moyen des scénarios pour chaque configuration d'outil

Scénario	Configuration		
	S et Ph	S, Pe, A et Ex	Autre
A	52,1	39,3	40,1
B	38,7	68,8	73,7
C	49,4	73,2	66,2
D	65,5	32,2	56,3
E	57,9	63,3	60,4
F	52,1	67,7	79,5
G	65,5	47,9	64,1
H	65,5	42,3	71,0
I	57,9	77,5	82,3
J	63,1	73,2	72,8
K	73,7	67,4	73,9
L	73,7	73,1	73,6
M	79,8	68,9	61,9
N	79,8	73,2	66,9
O	73,4	80,2	90,3
P	79,8	73,2	79,5
Q	79,8	88,8	88,7
R	83,9	80,1	85,0
S	88,7	76,1	81,0
T	96,0	100,0	93,7
Moyenne	68,8	68,3	73,1
Écart-type	23,5	26,2	27,7

4.8.3.2 Outils utilisant le paramètre de gravité du dommage (S) en conjonction avec les trois paramètres auxiliaires (Pe, A et Ex)

Cette configuration est la deuxième « configuration standard » proposée dans l'ISO 14121-1, le paramètre S y étant utilisé en conjonction avec les trois paramètres auxiliaires. Des 31 outils, 6 utilisaient les quatre paramètres en question (S, Ph, A et Ex), pour un niveau de risque moyen de 68,3 % et un écart-type de 26,2 %. Les résultats obtenus à l'égard des différents scénarios peuvent être divisés en trois groupes distincts. Le premier groupe se compose de deux outils d'estimation faible (19 et 91) donnant un niveau de risque moyen de 50 %. Le deuxième groupe se compose des outils 62 et 69 du groupe d'estimation intermédiaire, qui affichaient un niveau de risque moyen d'environ 64 %. Quant au troisième groupe, composé des outils 57 et 67 du groupe d'estimation élevée, il produisait un niveau de risque moyen significativement plus élevé (environ 91 %) que les deux autres groupes, ainsi que l'ont confirmé une analyse de variance ($F=16,169$ et $p=0,000$) et un test de Duncan.

4.8.3.3 Outils utilisant une configuration différente

Les 5 outils restants (17, 49, 53, 55 et 114) reposaient sur une configuration différente des « configurations standard » proposées dans l'ISO 14121-1. Tous utilisaient le paramètre de gravité du dommage en conjonction avec seulement un ou deux des paramètres auxiliaires (Pe, A

ou Ex). Appliqués aux 20 scénarios, ces outils produisaient un niveau de risque moyen de 73,1 %, ce qui est légèrement plus élevé qu'avec les autres configurations, pour un écart-type de 27,7 %. En parcourant le Tableau 13, on peut remarquer qu'à l'exception de l'outil 17, ces outils ont tendance à se comporter comme des outils d'estimation élevée à l'égard des scénarios à risque faible et moyennement faible.

4.8.4 Incidence du nombre de niveaux de chaque paramètre d'estimation du risque

Cette section porte sur l'analyse des différents paramètres utilisés par les outils selon les résultats obtenus à l'égard des 20 scénarios. Compte tenu du faible nombre d'outils utilisant chacun des paramètres auxiliaires, cette analyse n'a pu être effectuée que pour les deux paramètres de base, soit S et Ph. Les Figures 5 a) et b) présentent les résultats obtenus selon le nombre de niveaux de ces deux paramètres. Notez que les nombres inscrits sur les segments de courbe indiquent le nombre d'outils correspondants.

4.8.4.1 Gravité du dommage (S)

Le paramètre de gravité du dommage est utilisé par tous les outils. Dans les 31 outils sélectionnés pour cette étude, le nombre de niveaux de S varie de 2 à 6, comme l'indique la Figure 5 a). On peut remarquer une légère augmentation du niveau de risque moyen attribué aux 20 scénarios parallèlement à une augmentation du nombre de niveaux de S de 2 à 5. L'outil 17, qui définit 6 niveaux de S, produit par contre un niveau de risque moyen significativement plus faible que les autres outils, ainsi que l'ont confirmé une analyse de variance ($F=12,363$ et $p=0,000$) et un test de Duncan.

4.8.4.2 Probabilité du dommage (Ph)

Ce paramètre est utilisé par 20 outils, et le nombre de niveaux de Ph varie de 3 à 6. Les résultats présentés par la Figure 5 b) sont intéressants en ce que le nombre de niveaux de Ph ne semble pas influencer sur le niveau de risque moyen. De plus, on peut remarquer que le fait de ne pas utiliser le paramètre Ph n'a pas d'incidence particulièrement notable sur le niveau de risque moyen.

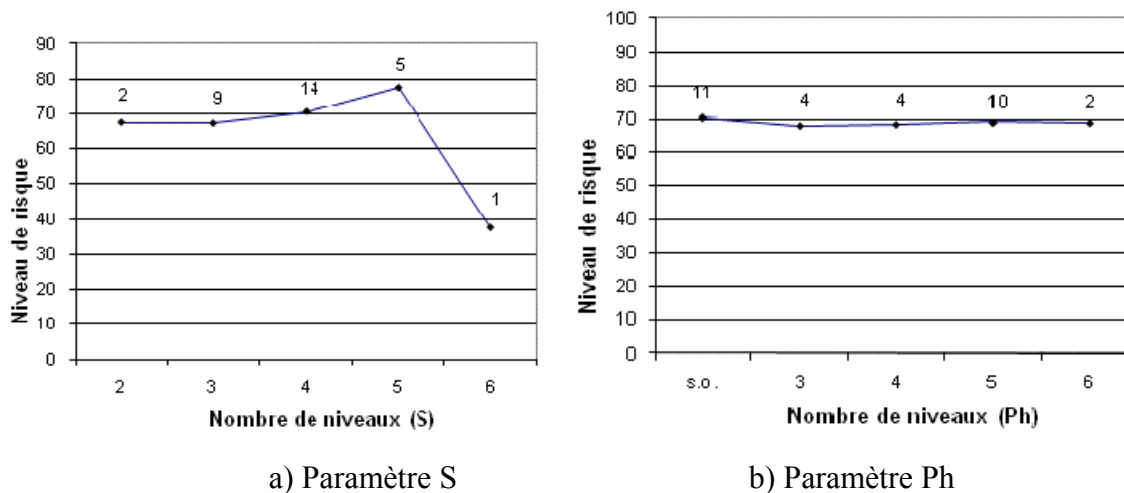


Figure 5 : Nombre de niveaux de risque et risque moyen (selon le nombre d'outils)

4.8.5 Incidence du nombre de niveaux de risque

Les différents outils analysés utilisaient un nombre variable de niveaux de risque. Dans les outils sélectionnés pour cette étude, le nombre de niveaux de risque utilisés varie de 2 à 15. La Figure 6 présente la courbe de risque moyen selon le nombre de niveaux de risque utilisés par les outils à l'égard des 20 scénarios. Une analyse de variance ($F=10,115$ et $p=0,000$) a révélé que le nombre de niveaux de risque influe sur le risque moyen estimé. La figure montre d'ailleurs clairement une diminution du risque moyen alors que le nombre de niveaux de risque passe de 2 à 5. Les outils utilisant 2, 3 ou 15 niveaux de risque semblent produire un risque moyen plus élevé que les outils utilisant 5 niveaux de risque ou plus. Le test de Duncan a de plus révélé que les outils utilisant 4, 5, 6, 7 et 11 niveaux de risque produisent des estimations moyennes comparables du risque.

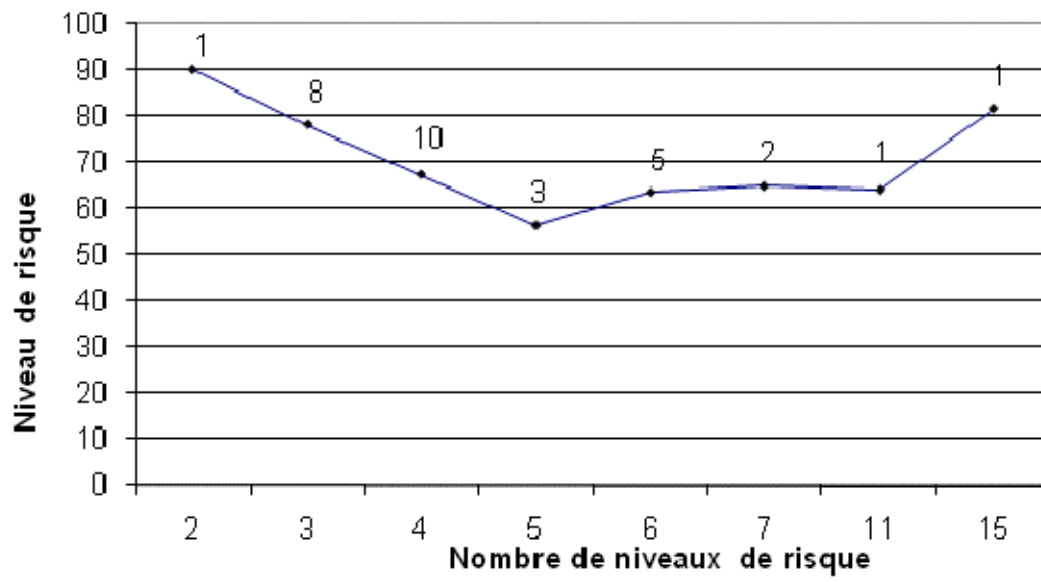


Figure 6 : Nombre de niveaux de risque et risque moyen (selon le nombre d'outils)

5. CONSTATATIONS

5.1 Constatations relatives aux échelles d'équivalence

Les échelles d'équivalence ont permis de formuler les différentes définitions applicables aux paramètres de même que les différents niveaux permettant de comparer les paramètres sur des bases communes et de procéder aux analyses subséquentes. Les caractéristiques des outils qui pouvaient générer des erreurs d'estimation du risque ont été identifiées, et sont présentées ci-après.

5.1.1 Définition des paramètres d'estimation du risque utilisés par les différents outils

La première observation découlant de l'analyse comparative des différents outils a trait à la grande variété de termes ou de noms donnés aux paramètres utilisés pour estimer le risque. Les différences les plus marquées se rapportent à la définition des paramètres de gravité du dommage (S) et de probabilité d'occurrence du dommage (Ph). Par exemple, dans le cas du paramètre S, on trouve des définitions telles que « *potentiel du phénomène dangereux à causer un dommage* », « *conséquences ou gravité possible d'une blessure* », « *gravité de la blessure ou de la maladie* », « *conséquences* », « *gravité* » et « *gravité du dommage* ». Et dans le cas du paramètre Ph, on trouve des définitions telles que « *probabilité du dommage* », « *probabilité d'occurrence du dommage* », « *probabilité ou plausibilité d'occurrence du dommage* », « *fréquence d'occurrence* », « *probabilité* », « *niveau de probabilité* » et « *mesure qualitative de la probabilité* ».

Pour chacun de ces paramètres, même si plusieurs des noms ou définitions retenus peuvent être considérés comme équivalents, certains restent vagues, imprécis et susceptibles d'induire en erreur les utilisateurs des outils visés. Par exemple, l'utilisation de « *conséquences* » comme définition du paramètre S peut amener un utilisateur à s'interroger sur la nature et l'étendue des dommages qu'il devrait prendre en considération dans son estimation du risque que présente une situation donnée : blessures, dommage matériel, impact sur l'environnement, perte de production, etc. Dans ce contexte, la définition « *gravité de la blessure ou de la maladie* » s'avère plus précise et laisse moins de place à l'interprétation.

Ce problème d'ambiguïté en ce qui concerne les noms et les définitions utilisés se révèle également pour le moins embarrassant dans le cas du paramètre Ph. Des définitions telles que « *fréquence d'occurrence* » ou « *probabilité* » ne peuvent en effet qu'amener un utilisateur à se demander si elles font référence à la probabilité du dommage (Ph) ou à la probabilité de l'événement dangereux (Pe), sinon à le présumer. En conséquence, un utilisateur peut facilement se perdre en conjectures à l'égard de ces deux paramètres. Cela dit, Ph est généralement nettement plus faible que Pe, puisqu'il est assorti d'autres paramètres comme l'exposition ou la possibilité d'évitement. Une définition plus précise du paramètre Ph (p. ex., « *probabilité*

d'occurrence du dommage spécifié ») pourrait favoriser une meilleure compréhension de l'apport requis des utilisateurs d'outils d'estimation du risque.

5.1.2 Nombre de seuils de chaque paramètre

Le nombre de seuils d'un paramètre donné peut différer d'un outil à un autre. L'analyse des échelles d'équivalence suggère qu'un nombre minimum de seuils est requis pour assurer une estimation adéquate du risque dans une situation donnée. Par exemple, certains outils (comme l'outil 49) n'utilisent que deux seuils pour le paramètre S, distinguant l'un et l'autre selon la réversibilité ou non de la blessure. Avec de tels outils, une blessure irréversible (p. ex., perte d'un bout de doigt) est considérée au même niveau que le décès d'un travailleur à l'égard de ce paramètre. Le cas échéant, un utilisateur pourrait ne pas être à l'aise de choisir le niveau approprié. Lorsque le nombre de seuils d'un quelconque paramètre est inadéquat, certains seuils tendent à couvrir trop de situations différentes, sinon extrêmes. Les outils sélectionnés dans cette étude utilisent de trois à cinq seuils pour chaque paramètre, et tendent à fournir la granularité voulue lors de l'estimation du paramètre.

5.1.3 Définition des seuils de chaque paramètre

L'analyse des échelles d'équivalence révèle des différences majeures dans les définitions que les outils donnent aux différents seuils des paramètres. Or, ces différences peuvent causer des problèmes lors de l'utilisation de certains outils. De fait, certains outils n'emploient que des termes ou expressions figuratifs (p. ex., « *possible* » ou « *probable* » pour le paramètre Ph, ou « *rare à assez fréquente* » pour le paramètre Exf) pour définir les divers seuils de leurs paramètres d'estimation du risque. Et l'emploi de termes figuratifs laisse en soi beaucoup de place à l'interprétation pour l'utilisateur. Est-ce que « *possible* » a le même sens pour tous les utilisateurs ? Qu'entend-on exactement par « *assez fréquente* » ? Compte tenu du manque de précision des termes employés, toute personne qui utilise de tels outils peut donner à chaque seuil une interprétation différente de celle d'une autre personne. Il va toutefois sans dire que ce problème d'interprétation est amoindri lorsqu'une définition détaillée est ajoutée au terme figuratif. Par exemple, lorsque le terme « *probable* » est accompagné d'une définition comme « *surviendra vraisemblablement plusieurs fois durant le cycle de vie* », l'utilisateur est plus à même de cerner les conditions propres à justifier le choix de ce niveau de probabilité. Utilisées conjointement à des termes ou expressions figuratifs, des définitions détaillées peuvent fournir à l'utilisateur une meilleure structure à l'intérieur de laquelle travailler, tout en favorisant une plus grande reproductibilité (répétabilité) des résultats ultimes d'estimation du risque entre utilisateurs ou par un même utilisateur.

5.1.4 Cohérence des termes employés pour définir les seuils

Bien qu'ils définissent de façon détaillée chacun des seuils de certains paramètres d'estimation du risque, certains outils emploient des termes inappropriés dans le contexte d'un seuil donné et de sa définition. Par exemple, un des outils définit comme suit un niveau donné de son paramètre S : « *Moyen – blessure grave, maladie professionnelle grave ou dommage important aux systèmes ou à l'environnement* ». Un autre outil emploie le terme « *majeur* » conjointement à « *mutilation ou blessure importante, mais non permanente* ». Dans ces cas, il y a incohérence entre les termes employés pour définir les niveaux, une « *blessure grave* » étant qualifiée de « *moyenne* », et une « *blessure non permanente* » étant qualifiée de « *majeure* ». Ce genre de situation risque de confondre certains utilisateurs lors de la sélection du niveau de gravité du dommage. Il est dès lors souhaitable de fournir des définitions précises et complètes correspondant aux termes figuratifs employés pour désigner différents seuils, de manière à éviter toute ambiguïté. Par exemple, aux fins d'établissement de l'échelle d'équivalence pour le paramètre de probabilité de l'événement dangereux, il a parfois été nécessaire de faire correspondre des seuils assortis d'étiquettes très différentes. Il semble que cela soit dû aux définitions variables accompagnant une même étiquette, au nombre de seuils ou à la nécessité d'établir des équivalences à l'égard d'autres seuils. Une autre raison possible tient au fait que certaines étiquettes peuvent avoir des sens différents selon les contextes industriels.

Dans un autre ordre d'idées, un outil employait les termes « *négligeable* » et « *improbable* » dans un ordre inverse à celui d'un autre outil utilisant ces mêmes étiquettes. Par ailleurs, la cohérence des termes employés en ce qui a trait à la gradation des seuils définis par un outil donné se veut aussi importante. Par exemple, certains outils emploient un même terme à l'égard de deux niveaux consécutifs : « *grave – plus de trois jours d'arrêt de travail* » (2^e niveau) et « *majeur – décès ou blessure grave* » (3^e niveau). Dans ce cas particulier, le terme figuratif « *grave* » est employé comme étiquette pour un niveau et se retrouve ensuite dans la définition du niveau suivant, ce qui risque de confondre l'utilisateur. En conséquence, quel que soit le paramètre, ses seuils devraient marquer une progression du plus faible au plus élevé, et les termes employés devraient refléter cette progression de manière à aider l'utilisateur à clairement distinguer les seuils les uns des autres et à sélectionner le niveau qui correspond à la situation de risque qu'il doit estimer.

5.1.5 Écarts entre les seuils

L'analyse détaillée des différents outils a révélé que, pour nombre d'entre eux, il y avait des écarts dans la progression des seuils de certains paramètres. Ce problème était particulièrement manifeste à l'égard des paramètres d'exposition (Exf et Exd). Par exemple, un outil définit le paramètre Exf selon deux niveaux, à savoir « *exposition non fréquente (en général, exposition au phénomène dangereux moins d'une fois par jour ou par quart de travail)* » pour le premier, et

« *exposition fréquente (en général, exposition au phénomène dangereux plus d'une fois par heure)* » pour le second. Dans ce cas, les définitions passent directement de moins d'une fois par jour à plusieurs fois par heure, et il en résulte un écart dans l'échelle temporelle en vertu duquel une exposition deux fois par jour se classe difficilement dans l'un ou l'autre des niveaux définis, ce qui risque de confondre l'utilisateur.

5.1.6 Définition de l'intervalle d'exposition

Un autre problème qui touche surtout les paramètres de probabilité (Ph et Pe) tient à la définition de l'intervalle d'exposition. Lors de la sélection d'un niveau de Ph, par exemple, l'utilisateur doit connaître l'intervalle de temps sur lequel fonder son jugement. Un événement « *improbable* » sur un très court intervalle d'exposition devient « *négligeable* » ou « *occasionnel* » sur un plus long intervalle. Ainsi une variation de l'intervalle d'exposition influe-t-elle sur Ph et Pe. Cependant, peu d'outils fournissent suffisamment d'information sur l'intervalle d'exposition à considérer, comme l'illustre l'exemple suivant : « *Défaillance technique observée de façon régulière (tous les six mois ou moins) ; intervention inappropriée d'une personne non formée ayant moins de six mois d'expérience à son poste de travail ; accidents similaires observés dans l'usine depuis dix ans.* » Cette définition ne fournit que de l'information partielle sur l'intervalle d'exposition (voire incomplète pour ce qui est de l'« *intervention inappropriée d'une personne...* ») relativement à un niveau du paramètre Pe. Cette lacune amène les utilisateurs des outils visés à faire différentes hypothèses quant à l'intervalle d'exposition, à savoir si l'intervalle couvre un quart de travail, une année, la vie active d'une personne ou la durée de vie de la machine.

5.2 Constatations relatives aux estimations du risque

Cette étude dégage de l'analyse des 31 outils sélectionnés un aperçu de leur rendement, de leurs différences de construction et de leurs domaines d'application. Les sections qui suivent présentent les principaux résultats et conclusions qui en découlent, et traitent de leur incidence sur le niveau de risque estimé.

5.2.1 Distribution des niveaux de risque obtenus

La distribution des niveaux de risque obtenus a été analysée par rapport aux scénarios d'essai et outil par outil. L'analyse des estimations du risque dans le cadre des différents scénarios donne lieu aux trois observations suivantes :

- les outils produisent des niveaux de risque qui diffèrent parfois considérablement d'un outil à un autre, allant par exemple du risque maximal au risque minimal pour un même scénario (voir Tableau 10 à l'égard du scénario B et des outils 49, 57, 67 et 114, ou à l'égard du scénario S et des outils 17 et 91) ;

- certains outils tendent systématiquement à sous-estimer les scénarios à risque élevé (p. ex., outils 6, 17, 19, 45, 46, 85 et 91) ;
- certains outils tendent systématiquement à surestimer les scénarios à risque faible ou moyennement faible (p. ex., outils 77, 10, 24, 34, 35, 41, 48, 49, 53, 55, 57, 67, 94 et 114).

En parcourant le Tableau 11, on peut voir que très peu de scénarios n'ont pas fait l'objet d'estimations touchant les deux extrêmes (risque le plus faible et risque le plus élevé), ce qui indique que nombre d'outils estiment curieusement le risque dans certaines circonstances. En outre, à l'égard de la plupart des scénarios, l'outil 17 (14 sur 20) et l'outil 91 (9 sur 20) produisent le niveau de risque le plus faible, tandis que l'outil 67 (16 sur 20) et l'outil 114 (11 sur 20) produisent le niveau de risque le plus élevé.

Les outils 17 et 114 utilisent une configuration distincte des deux « configurations standard » ; leurs caractéristiques seront présentées plus loin. Les outils 67 et 91 sont des outils à quatre paramètres fondés sur l'ISO 14121-1 ; leurs caractéristiques sont présentées dans le paragraphe qui suit.

L'outil 67 est celui qui fournit les estimations les plus élevées parmi les 31 outils sélectionnés pour cette étude. Il s'agit d'un outil hybride (calcul de catégorie – voir ISO 14121-2:2007), et non d'une matrice pure. Il ajoute des valeurs données à l'égard de trois paramètres, à savoir Ex, Pe et A, afin de définir une « catégorie » (correspondant à Ph selon ISO 14121-1, voir section 1.3) dans une matrice de risque. Une explication possible de la tendance d'estimation élevée de cet outil tient au poids relatif des paramètres auxiliaires d'estimation du risque. De fait, avec cet outil, une exposition continue à un phénomène dangereux est mathématiquement équivalente à la plus haute probabilité d'occurrence d'un événement dangereux (Pe). Or, on pourrait faire valoir que le paramètre Pe devrait avoir plus d'importance que le paramètre d'exposition dans la détermination de la probabilité du dommage.

Quant à l'outil 91, il utilise quatre paramètres avec seulement deux niveaux de gravité, alors que les autres outils définissent au moins trois niveaux à l'égard de ce paramètre. On peut dès lors soutenir que le fait d'avoir seulement deux niveaux de gravité permet plus difficilement de départager adéquatement certaines situations intermédiaires. Par ailleurs, les niveaux de risque de cet outil ne sont pas uniformément distribués dans la matrice de risque, une caractéristique qui sera approfondie à la section 5.2.3.

5.2.2 Incidence des configurations d'outil

5.2.2.1 Outils utilisant une des deux « configurations standard » proposées dans la norme ISO 14121-1:2007

Comme il a été mentionné précédemment, cette étude a considéré deux « configurations standard » selon les paramètres d'estimation du risque utilisés, soit une configuration à deux paramètres (S et Ph) et une configuration à quatre paramètres (S, Ex, Pe et A). L'analyse de ces deux architectures n'a pas permis d'établir si l'une est meilleure que l'autre ou préférable à l'autre. Le risque moyen produit par les outils à deux paramètres est de 68,8 %, ce qui est très près de celui des outils à quatre paramètres (68,3 %), et l'écart-type est élevé dans les deux cas. Cela dit,

selon les résultats obtenus et l'analyse effectuée, on peut affirmer que les outils simples à deux paramètres peuvent s'avérer aussi efficaces que les outils plus complexes à quatre paramètres lorsqu'il s'agit d'estimer le risque en lien avec les machines industrielles. Cela peut en outre expliquer que, dans cette étude, 20 outils reposent sur la première méthode de construction, contre 6 pour la seconde.

5.2.2.2 Outils utilisant une configuration différente

Les outils qui utilisent une configuration différente des deux « configurations standard » (outils 17, 49, 53, 55 et 114) tendent à produire des résultats boiteux dans la mesure où ils font abstraction d'au moins un paramètre important. Comme il a été mentionné, la plupart de ces outils tendent à produire des estimations élevées dans le cas des scénarios à risque faible ou moyennement faible, de sorte à donner un niveau de risque moyen de 73,1 %, légèrement plus élevé que pour les deux autres configurations.

Dans ce groupe, les outils 49 et 114 n'utilisent que trois paramètres (S, Exf et A) et excluent de ce fait le paramètre de probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (Pe). Cela pourrait expliquer le fait qu'ils tendent à produire des niveaux de risque plus élevés, étant donné qu'ils ne peuvent prendre en compte des facteurs susceptibles de favoriser une réduction du risque, comme des systèmes de contrôle de sécurité fiables.

L'outil 53 est un hybride qui calcule la somme de trois paramètres (S+Pe+Exf). Il lui manque le paramètre d'évitement (A) pour être conforme à l'ISO 14121. Bien que cet outil puisse prendre en compte certaines mesures de réduction du risque, il ne peut prendre en compte les facteurs d'évitement dans l'estimation du risque, ce qui produit un risque plus élevé dans nombre de circonstances où le dommage pourrait être évité ou limité par une intervention humaine ou un moyen technique approprié.

L'outil 55 n'utilise que deux paramètres (S et Exf). Ainsi n'estime-t-il le risque qu'en fonction de l'exposition à la situation dangereuse, sans égard à d'autres paramètres de probabilité (Pe et A). Avec ce type de construction, le simple fait d'être continuellement exposé à un phénomène dangereux suffit à produire une estimation élevée du risque.

Enfin, l'outil 17 affiche un risque moyen de 37,5 % alors que les autres produisent un risque moyen d'environ 80 %. Cet outil utilise trois paramètres (S, Pe et Exd). Il ne prend pas en compte le paramètre d'évitement et, contrairement à d'autres outils, il définit son niveau de gravité maximal en termes de décès multiples. De plus, il s'agit du seul outil graphique (nomogramme) évalué dans cette étude. L'expérimentation théorique effectuée dans le cadre de cette étude a

démontré que cette méthode offre davantage de flexibilité dans le choix du niveau d'un paramètre du fait de ses échelles de gradation continues. Parallèlement, elle est plus exigeante du fait que des valeurs intermédiaires sont possibles à l'égard des paramètres et du niveau de risque obtenu. La conversion d'un outil graphique en matrice est possible, mais à condition que les seuils des différents paramètres soient clairement définis. Pour ces diverses raisons, les outils reposant sur des matrices sont plus faciles à utiliser, et généralement préférés. Sans oublier que les outils graphiques tendent à masquer la dispersion des résultats, ce qu'explique en partie la nature de leurs échelles de gradation continues.

5.2.3 Incidence du nombre de niveaux de chaque paramètre d'estimation du risque

Comme on peut le voir dans la Figure 5 a), il y a une légère augmentation du niveau de risque moyen attribué aux 20 scénarios parallèlement à une augmentation du nombre de niveaux de S de 2 à 5. La raison n'en est toutefois pas claire. Comme il a été mentionné, il est possible de soutenir que le fait d'avoir seulement deux niveaux de gravité permet plus difficilement de départager adéquatement certaines situations intermédiaires. La majorité des outils utilisent entre trois et cinq niveaux à l'égard de ce paramètre.

En revanche, le nombre de niveaux de Ph ne semble avoir aucun effet sur le risque moyen, ainsi qu'en témoigne la courbe presque plate de la Figure 5 b). Ce qui est encore plus intéressant, on a constaté que le fait de ne pas utiliser Ph n'augmente que légèrement le risque moyen. Cela semble confirmer que les outils à deux paramètres (S et Ph) offrent un rendement équivalent à ceux de l'autre « configuration standard » en matière d'estimation du risque. La majorité des outils utilisent également entre trois et cinq niveaux à l'égard de ce paramètre.

5.2.4 Incidence du nombre et de la distribution des niveaux de risque

Les résultats de cette analyse suggèrent que le nombre de niveaux de risque d'un outil doit être supérieur à trois, sans quoi l'outil aura tendance à produire des estimations de risque élevées dans certains cas, comme l'indique la Figure 6. De plus, si l'objectif d'un outil d'estimation du risque est de « classer » les différents scénarios de situation dangereuse selon leur niveau de risque, il convient de retenir qu'il est plus facile d'y parvenir lorsque le « système de classement » comporte plus de trois niveaux. Ainsi estime-t-on qu'une échelle à quatre niveaux constitue un minimum, quoique le nombre optimal de niveaux reste sujet à débat.

Par ailleurs, une analyse détaillée des outils a révélé deux types de problèmes liés à la distribution des niveaux de risque de certains outils. Le premier problème a trait à l'uniformité, ou à l'égalité de la distribution des niveaux en soi. Par exemple, l'outil 91, qui découle de

l'ISO 14121-2, couvre 15 des 24 combinaisons ou résultats possibles assortis d'un niveau de risque faible (1 ou 2). Compte tenu de la construction de cet outil, si le paramètre de gravité du dommage est fixé au niveau le plus bas (S1), le niveau de risque obtenu sera toujours faible, quel que soit le niveau des autres paramètres. En conséquence, cet outil tend à produire des estimations faibles. De même, l'outil 48 est construit de telle sorte que 16 des 25 combinaisons ou résultats possibles sont assortis d'un risque élevé ou extrême, ce qui produit un niveau de risque moyen plus élevé. Avec cet outil, si l'on fixe la gravité du dommage à 1 ou 2, il en résultera toujours un risque élevé ou extrême, quelle que soit la probabilité d'occurrence sélectionnée. Cela vaut pour 10 des 16 occurrences de risque élevé ou extrême dans la matrice. Fait intéressant, les outils 35 et 48 présentent la même construction (S x Ph) et la même matrice de risque, si bien qu'ils produisent le même niveau de risque aux fins de la présente étude. Pour obtenir une progression uniforme du risque, on peut avancer que les outils doivent présenter une distribution raisonnablement uniforme ou égale des niveaux de risque, ce qui revient à dire que les zones de risque doivent être d'étendue comparable dans la matrice. De plus, chaque niveau de chaque paramètre utilisé dans un outil doit pouvoir produire un nombre raisonnable de niveaux de risque différents.

Le deuxième problème a trait à la continuité de la distribution des niveaux de risque. En effet, la matrice de risque de certains outils (1, 3, 45, 46, 55, 85 et 94) présente des discontinuités, soit l'absence d'une gradation uniforme, en ce que des cellules adjacentes de la matrice révèlent des écarts de plus d'un niveau. Par exemple, dans le cas de l'outil présenté à la Figure 7, on constate des écarts entre les niveaux de risque de la matrice, puisqu'on passe d'un risque « modéré » à « intolérable » à la deuxième ligne, et que, dans la troisième colonne, on saute le niveau « substantiel ». De telles discontinuités dans une matrice de risque empêchent une distribution égale des niveaux de risque, ce qui fait également en sorte qu'un paramètre contribue inégalement à la détermination du risque.

Probabilité d'occurrence du dommage	Gravité du dommage		
	Légèrement dangereux	Dangereux	Extrêmement dangereux
Hautement improbable	Négligeable	Tolérable	Modéré
Improbable	Tolérable	Modéré	Intolérable
Probable	Modéré	Substantiel	Intolérable

Figure 7 : Exemple d'outil d'estimation du risque à matrice bidimensionnelle

5.2.5 Calibrage des outils

Certains outils ont un domaine d'application qui va au-delà de la sécurité des machines, et ils ne devraient pas être utilisés dans ce contexte étant donné qu'ils produiront alors des niveaux de risque systématiquement plus faibles. En étudiant les différents outils, il est clairement apparu

que certains d'entre eux étaient conçus à une tout autre fin que la sécurité des machines. Les outils provenant d'industries à risque majeur (chemins de fer, pétrochimie, etc.) utilisent généralement un paramètre de gravité du dommage à l'égard duquel des décès multiples caractérisent le pire dommage envisageable, alors que les outils axés sur la sécurité des machines tiennent la probabilité d'un décès unique pour le niveau maximal de gravité du dommage. Pour produire un risque maximal, ces outils doivent avoir un niveau « décès multiples » (p. ex., outils 10, 17 et 66). Or, étant donné que, dans le contexte de la sécurité des machines, des décès multiples ne surviendront que très rarement, l'outil ne produira jamais un risque maximal, ce qui pourrait retarder ou même empêcher l'application de mesures de réduction du risque dans nombre de situations dangereuses courantes. Il est clair que les outils de cet ordre ne sont pas calibrés pour l'évaluation de la sécurité des machines dans les situations où la probabilité d'un décès unique devrait correspondre au risque le plus élevé. De tels outils ne conviennent donc pas à l'appréciation du risque en lien avec les machines, et ce, même si leur domaine d'application laisse souvent penser le contraire.

5.2.6 Proposition de règles de construction

Le Tableau 15 résume les résultats de cette étude en présentant les écarts ou les failles de construction relevés en lien avec les outils d'estimation faible et les outils d'estimation élevée. Comme l'indique ce tableau, certains de ces écarts sont surtout attribuables aux outils d'estimation soit faible, soit élevée, alors que d'autres peuvent nuire au processus d'estimation du risque dans les deux cas. Quoi qu'il en soit, tous les écarts ou failles de construction des outils peuvent fausser l'estimation du risque dans certaines circonstances. À partir des constatations qui précèdent, un certain nombre de règles de construction peuvent être proposées relativement aux outils d'estimation du risque. Ces règles, qui peuvent aussi être appliquées à la sélection d'un outil d'estimation du risque, sont les suivantes :

1. Recourir à l'une des « configurations standard » définies dans cette étude et proposées dans l'ISO 14121-1 (2 ou 4 paramètres) de manière à s'assurer qu'aucun paramètre d'estimation du risque n'est omis, étant donné que la plupart des outils qui ont recours à une configuration différente tendent à surestimer les scénarios de risque faible à moyennement faible.
2. Définir clairement la contribution ou le poids relatif de chaque paramètre de manière à éviter qu'un paramètre influe indûment sur le niveau de risque.
3. Définir et documenter soigneusement chaque paramètre. Par exemple, établir la distinction entre la probabilité du dommage et la probabilité de l'événement dangereux.
4. Utiliser entre trois et cinq niveaux à l'égard du paramètre de gravité du dommage par souci de cohérence avec la majorité des outils d'estimation du risque. Les outils à deux niveaux à l'égard de ce paramètre départagent difficilement certaines situations intermédiaires, ce qui fausse l'estimation du risque dans certaines circonstances.
5. Utiliser entre trois et cinq niveaux à l'égard du paramètre de probabilité du dommage par souci de cohérence avec la majorité des outils d'estimation du risque.

6. Définir au moins quatre niveaux de risque. Les outils qui en définissent moins tendent à surestimer le risque dans nombre de circonstances.
7. Préférer un outil à matrice à un outil graphique (nomogramme). L'outil graphique utilisé dans cette étude sous-estimait le risque dans la plupart des scénarios. Son utilisation était en outre compliquée par ses échelles continues.
8. Éviter les discontinuités ou les écarts entre les seuils ou les niveaux des paramètres.
9. Éviter l'emploi de termes uniques ou vagues pour définir les seuils des paramètres.
10. Définir le paramètre de fréquence d'exposition en lien avec une référence temporelle (p. ex., X fois par quart de travail, X fois par heure).
11. Éviter l'emploi d'un même terme ou d'une même expression dans la description de deux seuils distincts d'un même paramètre.
12. Veiller à assurer une distribution uniforme des niveaux de risque dans la matrice. Il en découle que chaque niveau de chaque paramètre devrait raisonnablement pouvoir déboucher sur un bon nombre de niveaux de risque, et qu'aucun niveau de risque ne devrait prédominer ou couvrir la plus grande partie de la matrice.
13. Éviter les outils dont les extrants sont sensibles à l'excès au moindre changement incrémentiel d'un intrant. De telles discontinuités nuisent à la distribution des résultats et font en sorte qu'un paramètre influe indûment sur la détermination du risque (p. ex., les écarts entre les niveaux de risque de la matrice ne devraient pas être de plus d'un niveau de risque entre deux cellules adjacentes).
14. Concevoir ou choisir un outil adapté au domaine d'appréciation du risque de la machine. Il pourrait, à cette fin, s'avérer nécessaire de calibrer les niveaux des paramètres utilisés dans l'analyse de la sécurité de la machine. Par exemple, un outil dérivé d'une industrie à risque majeur dans laquelle des décès multiples sont requis pour atteindre le niveau de risque maximal n'est pas adapté à l'estimation du risque d'une machine.

6. CONCLUSION

Cette étude visait l'analyse d'un échantillon choisi de 31 outils d'estimation du risque en lien avec les machines industrielles. Les outils ont été sélectionnés et analysés de façon systématique de manière à pouvoir caractériser leurs similitudes et leurs différences sur la base d'échelles d'équivalence en ce qui a trait à leurs paramètres. Cette approche a été retenue afin d'analyser des outils différents à l'aide de critères communs. Les résultats démontrent que la structure des outils et la terminologie employée par les différents outils peuvent biaiser sinon fausser les estimations de risque. Les facteurs que les concepteurs et les utilisateurs d'outils d'estimation du risque devraient prendre en compte comprennent :

- la définition des paramètres d'estimation du risque ;
- le nombre de niveaux ou de seuils de chaque paramètre ;
- la définition de chaque niveau ou seuil à l'égard de chaque paramètre ;
- les écarts entre les niveaux ou les seuils ;
- la définition de l'intervalle d'exposition ;
- le nombre de niveaux de risque.

Dans le cadre de cette étude, on a par ailleurs étudié et analysé les différences de résultats obtenus par l'application de différents outils d'estimation du risque en lien avec la sécurité des machines à des situations dangereuses identiques. Ont ainsi été approfondies l'influence des types de paramètres d'estimation du risque utilisés dans les outils, la construction ou l'architecture des outils, l'influence du nombre de niveaux de chaque paramètre et l'influence du nombre de niveaux de risque sur les résultats obtenus en appliquant chaque outil à des situations dangereuses. Conséquemment, 31 outils d'estimation du risque ont été sélectionnés à partir de critères prédéfinis et comparés quant à leur estimation du niveau de risque lié à 20 situations dangereuses. Les résultats révèlent d'importantes différences entre les outils pour ce qui est de l'évaluation d'une même situation. Le domaine d'application d'un outil et sa construction sont des facteurs qui semblent contribuer à la variabilité des résultats. Les outils conçus selon les deux « configurations standard » définies dans cette étude et proposées dans la norme ISO 14121-1 produisent des niveaux de risque moyens semblables, mais dans un cas comme dans l'autre, certains outils sous-estiment les risques liés aux situations dangereuses alors que d'autres les surestiment. Il en ressort qu'un outil simple n'utilisant que deux paramètres peut s'avérer aussi efficace qu'un outil plus complexe utilisant quatre paramètres. Les observations relatives au comportement des différents outils ont amené les auteurs à proposer un ensemble de règles ou recommandations de construction visant la conception d'outils exempts de biais susceptibles d'entraîner une sous-estimation ou une surestimation du risque. Ces recommandations pourraient aider les utilisateurs dans le choix ou la conception d'un outil d'estimation du risque. De futurs travaux porteront sur la validation des outils les plus prometteurs auprès d'un vaste échantillon d'utilisateurs d'industries variées. Le but ultime de l'appréciation du risque tient à la sélection et à la mise en œuvre de mesures de protection fondées sur des estimations du risque dépourvues de biais et propres à assurer l'application de mesures de réduction du risque appropriées.

REFERENCES

Abrahamsson, M. (2000). Treatment of uncertainty in risk based regulations and standards for risk analysis, Report 3116, Lund University, Sweden, 82 pages.

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

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.

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

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

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

Company A (2002). Identification des dangers et risques en Santé/Sécurité, Internal company document.

Company P (2003). Risk assessment and risk reduction, Internal company document.

Company R (2004). Évaluation des risque - Partie 2: Évaluation des mesures de réduction des risques, Internal company document.

Company X (1997). Tableau d'analyse de risque (sans titre), Internal company document.

CSA-Q634-91 (1991). Risk Analysis Requirements and Guidelines, Canadian Standard Association.

CSST (2002). Sécurité des machines, Phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, DC 900-337 (07-02), 15 p.

Etherton, J. (2007) Industrial Machine Risk Assessment: A Critical Review of Concepts and Methods. Risk Analysis Journal, 27(1) 71-82.

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.

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

ISO 12100-1 (2003). Safety of machinery- Basic concepts, general principles for design - Part 1: Basic terminology, methodology, International Standard.

ISO 14121-1 (2007). Safety of machinery - Principles of risk assessment, Part 1: General Principles, International Standard.

ISO 14121-2 (2007). Risk Assessment - Part 2: Practical guidance and examples of methods, International Standard.

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

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

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

Main, Bruce W. (2004). Risk Assessment: Basics and benchmarks, Design Safety Engineering Inc., 485 p.

Marradi, A. (1990). Classification, Typology, Taxonomy, Quality and Quantity XXIV (May 1990): 129-157.

MIL-STD-882D (2000). Standard Practice for System Safety (Appendix A), US Department of Defense.

Paques, J.-J., Bourbonnière, R., Daigle, R., Doucet, P., Masson, P., Micheau, P., Lane, J. and Tardif, J. (2005). Transfert de compétences en formation sur la gestion de la sécurité des machines et les moyens de protection. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Rapport du projet 099-216, R394, 105 p.

Paques, J.-J., Gauthier, F., Perez, A., Charpentier, P., Lamy, P. and David, R. (2005b). Bilan raisonné des outils d'appréciation des risques associés aux machines industrielles, Rapport R-459, IRSST #099-343, 64 p.

Paques, J.-J., Perez, A., Lamy, P., Gauthier, F., Charpentier, P. and David, R. (2005c). Reasoned review of the tools for assessing the risks associated with industrial machines: Preliminary results, *4th International Conference Safety of Industrial Automated Systems*, September 26-28, 2005, Chicago, Illinois, USA

Paques, J.-J. (2005d) Results of exploratory tests on tools for assessing the risks associated with industrial machines, *4th International Conference Safety of Industrial Automated Systems*, September 26-28, 2005, Chicago, Illinois, USA

Paques, J.-J. and Gauthier, F. (2006). Thematic program: Integrated projects on risk assessment tools for industrial machinery, *HST-CDN (Hygiène et sécurité du travail)*, ND 2259-205-06, p. 33-40.

Paques, J.-J. and Gauthier, F. (2007) Analysis and Classification of the Tools for Assessing the Risks Associated with Industrial Machines, *Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 13(2), p. 173-187.

Parry, G.W. (1999). Uncertainty in PRA and its implications for use in Risk-informed decision making. *Proceedings of the 4th International conference on probabilistic safety assessment and management, PSAM 4*, Edited by Mosleh, A. & Bari, R.A., New York.

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

Stevens, S.S. (1946). On the theory of scales of measurement. *Science*, 103, 677-680.

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

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

Trochim, W. M. (2005a). Level of measurement, Research Methods Knowledge Base, Cornell University, Atomic Dog Publishing.

Trochim, W. M. (2005b). Likert scaling, Research Methods Knowledge Base, Cornell University, Atomic Dog Publishing.

Velleman, P. F. and Wilkinson, L. (1993). Nominal, ordinal, interval, and ratio typologies are misleading. *The American Statistician*, 47(1), 65-72.

Wikipedia (2006). Level of measurement, Wikipedia, the free encyclopedia, downloaded January 2006.

Worsell, N and Wilday, J. (1997). The application of risk assessment to machinery safety - Review of risk ranking and risk estimation techniques, Health and Safety Laboratory, 130 p.

HSL (2008) How to complete a methodical risk estimation, Health and Safety Laboratory.