

Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

RAPPORT R-940



Sécurité des machines Expérimentation pratique de paramètres et d'outils d'estimation du risque

*François Gauthier
Yuvin Chinniah
Damien Burllet-Vienney
Barthélemy Aucourt
Stéphane Larouche*



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;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

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

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 des normes, de l'équité, 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 CNESST. Abonnement : preventionautravail.com

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2016
ISBN : 978-2-89631-901-5
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
Septembre 2016



Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

■ RAPPORT R-940

Sécurité des machines Expérimentation pratique de paramètres et d'outils d'estimation du risque

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.

*François Gauthier¹, Yuvin Chinniah², Damien Burllet-Vienney³,
Barthélemy Aucour², Stéphane Larouche¹*

¹ Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR)

² Polytechnique Montréal

³ Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)



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

ÉVALUATION PAR DES PAIRS

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

Les auteurs souhaiteraient remercier les personnes et organismes suivants pour leur appui et leur participation essentielle à cette étude :

- Les membres du comité de suivi : Mme Johanne Doyon (Hydro-Québec), M Michel Gingras (MultiPrévention), M. Wagui Geadah (Association sectorielle Fabrication d’équipement de transport et de machines [ASFETM]), M. Sèdoté Ghislain Hounkpe (Commission des normes, de l’équité, de la santé et de la sécurité du travail [CNESST]), M. Jacques Laroche (Associations de la santé et de la sécurité des pâtes et papiers et des industries de la forêt du Québec [ASSPPQ/ASSIFQ]), Mme Marie Ménard (ASP-Imprimerie) et M. Tony Venditi (Association sectorielle Fabrication d’équipement de transport et de machines [ASFETM]).
- Les 25 sujets, ainsi que leurs employeurs respectifs, qui ont accepté de donner de leur temps pour la réalisation de cette étude.
- Mmes Nicola Stacey, Nicola Healey et Colleen Butler du Health and Safety Laboratory (Buxton, Royaume-Uni) pour leur expertise et leur participation active à la préparation et à la réalisation de cette étude.
- M. Joseph-Jean Paques pour ses judicieux conseils.

SOMMAIRE

Dans une démarche d'appréciation du risque telle que définie dans la norme internationale ISO 12100:2010, l'estimation du risque est une étape essentielle permettant aux concepteurs et aux utilisateurs de machines de déterminer le niveau de risque et les situations dangereuses les plus critiques. Deux études antérieures financées par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) ont permis de révéler que les nombreux outils qui permettent de réaliser l'estimation du risque se présentent sous des formes très diverses, et que plusieurs de leurs caractéristiques (ex. : paramètres, architecture) pouvaient influencer de façon importante le niveau de risque obtenu par leur application. Dans ce troisième volet de la programmation de recherche de l'IRSST sur l'appréciation du risque associé aux machines, l'impact de ces caractéristiques a été évalué et certaines règles de construction des outils d'estimation du risque ont été validées par une étude expérimentale nécessitant la participation de différents utilisateurs provenant principalement de l'industrie.

Six outils ont été analysés, notamment quatre outils ayant été sélectionnés à partir de la liste des 31 outils d'estimation du risque tirée des études antérieures, ainsi que les outils d'estimation du risque proposés par l'IRSST, la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) et par le Health and Safety Laboratory (HSL) au Royaume-Uni. Certains paramètres d'estimation du risque comportant des défauts ou des biais potentiels ont également été sélectionnés. Ces outils et ces paramètres d'estimation du risque ont été appliqués à des scénarios concrets de situation dangereuse associés à des machines, par un échantillon représentatif d'intervenants en industrie, de préventeurs en santé et en sécurité du travail (SST), de conseillers d'associations sectorielles paritaires (ASP), de formateurs, etc. provenant de différents secteurs. Ils ont tous été invités à indiquer leur perception, leurs préférences et leurs motivations face aux différents choix s'offrant à eux dans le processus d'estimation du risque.

Au regard de l'étude des paramètres d'estimation du risque, cinq des défauts potentiels établis dans l'étude précédente de cette programmation de recherche ont pu être analysés. Les résultats expérimentaux montrent que lorsque les sujets perçoivent une certaine difficulté d'application d'un paramètre, ils sont généralement capables de l'associer à la présence du défaut affectant le paramètre. Les résultats indiquent aussi de manière assez évidente que l'impact des défauts de construction des paramètres n'est pas uniforme. La nature du défaut, sa position dans l'échelle du paramètre et le scénario en présence influencent son impact sur l'établissement du niveau d'un paramètre. Les paramètres de gravité du dommage semblent relativement robustes et permettent d'obtenir un bon consensus entre les utilisateurs, malgré la présence de défauts. Par contre, les paramètres de probabilité d'occurrence du dommage et de probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux sont nettement moins robustes. Outre la présence de défauts dans ces paramètres, les résultats obtenus suggèrent que l'évaluation de la probabilité est un aspect problématique de l'estimation du risque et qu'une attention particulière doit y être accordée.

Pour l'étude des outils d'estimation du risque, trois critères ont été utilisés pour déterminer des difficultés d'application potentielles : 1) la capacité à distinguer des scénarios à niveaux de risque différents, 2) la satisfaction de l'utilisateur quant au résultat obtenu et 3) la convergence des résultats (répétabilité intersujets). En établissant l'origine des difficultés observées lors de l'utilisation des six outils d'estimation du risque, l'impact du non-respect de certaines règles de

construction concernant l'architecture des outils a pu être confirmée. Une architecture qui donne plus d'influence à un paramètre (ex. le premier paramètre dans un graphe) peut amplifier une divergence des résultats et diminuer la capacité à classer convenablement les scénarios, surtout en présence de défauts dans les paramètres plus influents. Une matrice sensible au moindre changement de niveau d'un paramètre aura le même impact en présence de défaut sur un de ses paramètres. Une architecture qui ne conduit pas à une distribution uniforme des niveaux de risque a mené à des résultats insatisfaisants et à des problèmes de discrimination des scénarios. Une structure non conforme à la norme ISO 12100:2010 n'a pas révélé d'impact sur le processus d'estimation du risque.

Ces résultats pourront contribuer à l'amélioration de la robustesse et de la fiabilité des outils existants et appuyer la formation actuellement donnée par les partenaires en matière d'appréciation du risque.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	III
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES FIGURES	XV
1. INTRODUCTION	1
1.1 Contexte de la recherche	1
1.2 Revue de la littérature	2
1.3 Objectifs de la recherche	6
2. MÉTHODOLOGIE	9
2.1 Phase préparatoire	9
2.1.1 Sélection et préparation des scénarios de situations dangereuses	9
2.1.2 Sélection et préparation des paramètres d’estimation du risque	11
2.1.3 Sélection et préparation des outils d’estimation du risque.....	11
2.1.4 Sélection des sujets pour l’expérimentation.....	13
2.2 Protocole expérimental	14
2.3 Analyse des résultats	15
2.3.1 Analyse des impacts des défauts des paramètres d’estimation du risque	15
2.3.2 Analyse des impacts des défauts des outils d’estimation du risque	17
3. RÉSULTATS - IMPACT DES DÉFAUTS ASSOCIÉS AUX PARAMÈTRES D’ESTIMATION DU RISQUE	21
3.1 Convergence globale des résultats en fonction du type de paramètres	21

3.2	Analyse globale du niveau de difficulté d’application en fonction du type de paramètres	22
3.3	Analyse des défauts associés au paramètre « gravité du dommage (S) ».....	25
3.3.1	Description des paramètres et des défauts étudiés	25
3.3.2	Impact des défauts sur la convergence des résultats	28
3.3.3	Impact des défauts sur le niveau de difficulté d’application du paramètre.....	29
3.3.4	Constatations relatives à l’impact des défauts associés au paramètre « gravité du dommage »	32
3.4	Analyse des défauts associés au paramètre « probabilité d’occurrence du dommage (Ph) »	33
3.4.1	Description des paramètres et des défauts étudiés	33
3.4.2	Impact des défauts sur la convergence des résultats	36
3.4.3	Impact des défauts sur le niveau de difficulté d’application du paramètre.....	36
3.4.4	Constatations relatives à l’impact des défauts associés au paramètre « probabilité d’occurrence du dommage »	38
3.5	Analyse des défauts associés au paramètre « fréquence d’exposition (Exf) »	39
3.5.1	Description des paramètres et des défauts étudiés	40
3.5.2	Impact des défauts sur la convergence des résultats	41
3.5.3	Impact des défauts sur le niveau de difficulté d’application du paramètre.....	41
3.5.4	Constatations relatives à l’impact des défauts associés au paramètre « fréquence d’exposition »	43
3.6	Analyse des défauts associés au paramètre « durée d’exposition (Exd) ».....	44
3.6.1	Description des paramètres et des défauts étudiés	44
3.6.2	Impact des défauts sur la convergence des résultats	46

3.6.3	Impact des défauts sur le niveau de difficulté d’application du paramètre.....	47
3.6.4	Constatations relatives à l’impact des défauts associés au paramètre « durée d’exposition ».....	48
3.7	Analyse des défauts associés au paramètre « possibilité d’évitement (A) »... 49	
3.7.1	Description des paramètres et des défauts étudiés	49
3.7.2	Impact des défauts sur la convergence des résultats	50
3.7.3	Impact des défauts sur le niveau de difficulté d’application du paramètre.....	50
3.7.4	Constatations relatives à l’impact des défauts associés au paramètre « possibilité d’évitement »	51
3.8	Analyse des défauts associés au paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux (Pe) »	51
3.8.1	Description des paramètres et des défauts étudiés	51
3.8.2	Impact des défauts sur la convergence des résultats	53
3.8.3	Impact des défauts sur le niveau de difficulté d’application du paramètre.....	53
3.8.4	Constatations relatives à l’impact des défauts associés au paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux »	54
4.	RÉSULTATS - ANALYSE DE L’APPLICATION DES OUTILS D’ESTIMATION DU RISQUE	55
4.1	Outil #19.....	55
4.1.1	Performance de l’outil pour le classement des scénarios.....	55
4.1.2	Convergence et satisfaction des utilisateurs.....	55
4.1.3	Principales constatations relatives à l’outil #19	56
4.2	Outil #24.....	57
4.2.1	Performance de l’outil pour le classement des scénarios.....	57
4.2.2	Convergence et satisfaction des utilisateurs.....	57

4.2.3	Principales constatations relatives à l’outil #24	58
4.3	Outil #69	58
4.3.1	Performance de l’outil pour le classement des scénarios	58
4.3.2	Convergence et satisfaction des utilisateurs.....	59
4.3.3	Principales constatations relatives à l’outil #69	59
4.4	Outil #89	60
4.4.1	Performance de l’outil pour le classement des scénarios	60
4.4.2	Convergence et satisfaction des utilisateurs.....	60
4.4.3	Principales constatations relatives à l’outil #89	61
4.5	Outil #91	61
4.5.1	Performance de l’outil pour le classement des scénarios	61
4.5.2	Convergence et satisfaction des utilisateurs.....	62
4.5.3	Principales constatations relatives à l’outil #91	63
4.6	Outil #114.....	63
4.6.1	Performance de l’outil pour le classement des scénarios	63
4.6.2	Convergence et satisfaction des utilisateurs.....	64
4.6.3	Principales constatations relatives à l’outil #114.....	64
5.	DISCUSSION	67
5.1	Impact des défauts sur le processus d’estimation du risque	67
5.1.1	Impact du défaut « pauvre définition des niveaux »	69
5.1.2	Impact du défaut « définitions incohérentes des différents niveaux »	70
5.1.3	Impact du défaut « nombre de niveaux inadéquat »	71
5.1.4	Impact du défaut « écart entre les niveaux ».....	72
5.1.5	Impact du défaut « absence d’intervalle d’exposition ».....	73

5.1.6	Autres défauts et biais	74
5.2	Impact du non-respect des règles de construction concernant l’architecture des outils d’estimation du risque.....	74
5.2.1	Outil #19	74
5.2.2	Outil #24	76
5.2.3	Outil #69	77
5.2.4	Outil #89	78
5.2.5	Outil #91	78
5.2.6	Outil #114	79
5.2.7	Synthèse de l’impact du non-respect des règles de construction concernant l’architecture des outils d’estimation du risque.....	80
6.	ANALYSE COMPARÉE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LE HSL	83
6.1.1	Contexte	83
6.1.2	Résultats des expérimentations	83
6.1.3	Résultats quant à la perception des sujets	84
6.1.4	Conclusion de l’analyse comparée.....	86
7.	CONCLUSION	87
	BIBLIOGRAPHIE.....	89
	ANNEXE A : SCÉNARIOS UTILISÉS LORS DE L’EXPÉRIMENTATION	93
	ANNEXE B : PARAMÈTRES TESTÉS LORS DE L’EXPÉRIMENTATION.....	97
	ANNEXE C : OUTILS D’ESTIMATION DU RISQUE ÉTUDIÉS.....	101
	ANNEXE D : QUESTIONNAIRE POUR LE TEST DES OUTILS D’ESTIMATION DU RISQUE	105
	ANNEXE E : PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL	111

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Défauts et règles de construction des outils d’estimation du risque (Gauthier et al., 2012).....	5
Tableau 2 :	Description des quatre scénarios retenus pour l’expérimentation pratique.	10
Tableau 3 :	Outils d’estimation sélectionnés pour l’expérimentation.	13
Tableau 4 :	Critères utilisés pour l’analyse des classements des scénarios.....	18
Tableau 5 :	Équivalence des niveaux de risque entre les outils à 4 niveaux et ceux à 6 et à 11 niveaux.	19
Tableau 6 :	Pourcentage modal obtenu pour chaque type de paramètres en fonction des défauts.....	21
Tableau 7 :	Nombre moyen de sujets ayant indiqué qu’il fut assez difficile ou très difficile de faire leur choix de niveau pour chaque type de paramètres en fonction des défauts.	23
Tableau 8 :	Nombre moyen de commentaires négatifs en lien avec chacun des défauts pour chaque type de paramètres.	23
Tableau 9 :	Analyse du paramètre « gravité du dommage » pour chacun des 4 scénarios.....	25
Tableau 10 :	Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #33.	26
Tableau 11 :	Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #55.....	26
Tableau 12 :	Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #66.	27
Tableau 13 :	Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #69.	27
Tableau 14 :	Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #91.....	28
Tableau 15 :	Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #102.	28
Tableau 16 :	Analyse du paramètre « probabilité d’occurrence du dommage ».....	33
Tableau 17 :	Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d’occurrence du dommage » de l’outil #6.	34

Tableau 18 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #7.	34
Tableau 19 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #34.	35
Tableau 20 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #41.	35
Tableau 21 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #89.	36
Tableau 22 : Analyse du paramètre « fréquence d'exposition ».	39
Tableau 23 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « fréquence d'exposition » de l'outil #49.	40
Tableau 24 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « fréquence d'exposition » de l'outil #67.	41
Tableau 25 : Analyse de l'impact du défaut « écart entre les niveaux » du paramètre « fréquence d'exposition » de l'outil #49.	42
Tableau 26 : Analyse du paramètre « durée d'exposition ».	44
Tableau 27 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #19 ..	45
Tableau 28 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #62. .	45
Tableau 29 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #91. .	46
Tableau 30 : Analyse du paramètre « possibilité d'évitement ».	49
Tableau 31 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « possibilité d'évitement » de l'outil #57.	49
Tableau 32 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « possibilité d'évitement » de l'outil #114.	50
Tableau 33 : Analyse du paramètre « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux ».	51
Tableau 34 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux » de l'outil #19.	52

Tableau 35 : Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux » de l’outil #62.	52
Tableau 36 : Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #19 par rapport au classement de référence.	55
Tableau 37 : Résumé des données d’analyse de l’outil #19.	56
Tableau 38 : Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #24 par rapport au classement de référence.	57
Tableau 39 : Résumé des données d’analyse de l’outil #24.	57
Tableau 40 : Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #69 par rapport au classement de référence.	58
Tableau 41 : Résumé des données d’analyse de l’outil #69.	59
Tableau 42 : Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #89 par rapport au classement de référence.	60
Tableau 43 : Résumé des données d’analyse de l’outil #89.	61
Tableau 44 : Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #91 par rapport au classement de référence.	62
Tableau 45 : Résumé des données d’analyse de l’outil #91.	62
Tableau 46 : Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #114 par rapport au classement de référence.	63
Tableau 47 : Résumé des données d’analyse de l’outil #114.	64
Tableau 48 : Synthèse de l’impact du non-respect des règles de construction concernant l’architecture des outils d’estimation du risque.	81
Tableau 49 : Comparaison des niveaux de risque obtenus par l’équipe UQTR-PM-IRSST et par l’équipe HSL, pour l’outil #24.	84
Tableau 50 : Comparaison des niveaux de risque obtenus par l’équipe UQTR-PM-IRSST et par l’équipe HSL, pour l’outil #91.	84
Tableau 51 : Scénario A.	93
Tableau 52 : Scénario G.	94
Tableau 53 : Scénario M.	95
Tableau 54 : Scénario S.	96
Tableau 55 : Paramètres testés lors de l’expérimentation et type de défaut associé.	97

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Démarche d'appréciation du risque basée sur la norme ISO 12100:2010.....	1
Figure 2 :	Exemple d'outil d'estimation du risque.	2
Figure 3 :	Relation entre le nombre de sujets ayant indiqué un niveau de difficulté 4 ou 5 et le nombre de commentaires négatifs en lien avec les défauts.	24
Figure 4 :	Relation entre le nombre de sujets ayant indiqué un niveau de difficulté 4 ou 5 et le pourcentage modal.	24
Figure 5 :	Illustration de l'impact d'un changement de niveau pour le paramètre « gravité du dommage » sur le niveau de risque obtenu avec l'outil #19.	76
Figure 6 :	Graphe de risque de l'outil #19 (Source : Ekelenburg et al., 1996).	101
Figure 7 :	Matrice de risque de l'outil #24 (Source : ANSI B11.TR3, 2000).	101
Figure 8 :	Graphe de risque de l'outil #69 (Source : Görnemann, 2003).	102
Figure 9 :	Matrice de risque de l'outil #89 (Source : The Metal Manufacturing and Minerals Processing Industry Committee, 2002).	102
Figure 10 :	Graphe de risque de l'outil #91 (Source : CSST, 2002).	103
Figure 11 :	Matrices de risque de l'outil #114 (Source : HSL, 2012).	103
Figure 12 :	Questionnaire outil #19.	105
Figure 13 :	Questionnaire outil #24.	106
Figure 14 :	Questionnaire outil #69.	107
Figure 15 :	Questionnaire outil #89.	108
Figure 16 :	Questionnaire outil #91.	109
Figure 17 :	Questionnaire outil #114.	110
Figure 18 :	Exemple d'un questionnaire portant sur un paramètre (Gravité du dommage - outil #33).	112

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte de la recherche

Depuis 2005, la CNESST a mis en œuvre son *Plan d'action - Sécurité des machines*, qui cible les dangers associés aux pièces en mouvement sur les machines. Les différentes interventions de la CNESST sont basées sur une politique de tolérance zéro lorsque les pièces mobiles des machines sont accessibles aux travailleurs. Or, sans que soit mise en œuvre une démarche structurée d'appréciation du risque, il est difficile de prendre des décisions optimales sur les moyens de réduire les risques associés aux machines (Lyon et Hollcroft, 2012; Hughes et Ferrett, 2005; Main, 2012; Pickering et Cowley, 2010). L'appréciation du risque est constituée d'une série d'étapes utilisées pour examiner les dangers associés aux machines. Elle peut être divisée en deux phases, à savoir (i) l'analyse du risque et (ii) l'évaluation du risque, comme le précise la norme internationale ISO 12100:2010. *Sécurité des machines – Principes généraux de conception – Appréciation et réduction du risque*.

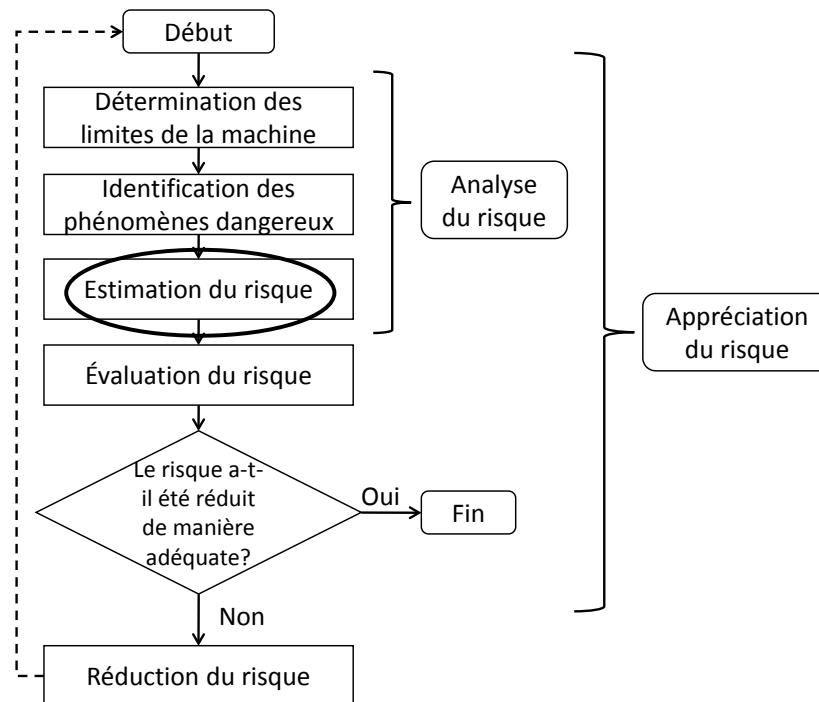


Figure 1 - Démarche d'appréciation du risque basée sur la norme ISO 12100:2010.

La figure 1, tirée de la norme ISO 12100:2010, montre l'étape d'estimation du risque dans la démarche d'appréciation du risque. La présente étude s'est consacrée à cette étape qui consiste à estimer le niveau de risque inhérent à chacune des situations dangereuses associées à l'utilisation d'une machine. Cette figure illustre que l'estimation du risque est la dernière étape de l'analyse du risque, menant à l'évaluation et à la réduction du risque. Ainsi, l'estimation du risque est une étape critique dans la priorisation des activités de réduction du risque qui suivent une démarche d'appréciation du risque. Une mauvaise estimation peut mener à la mise en place de mesures de réduction du risque inadéquates ou insuffisantes sur une machine.

1.2 Revue de la littérature

Selon la norme ISO 12100 (2010), *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 évènement dangereux, et 3) les possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage.* De nombreux outils sont proposés dans la littérature afin d’estimer les risques sur la base de ces « éléments » définis dans la norme (Paques et al., 2005b). Ces outils sont proposés autant par des organismes chargés de la prévention des accidents que par des entreprises. Ils sont parfois associés à des programmes de formation détaillés et parfois simplement diffusés dans un document décrivant brièvement leur utilisation. Dans ces outils, les « éléments », que l’on nomme paramètres d’estimation du risque dans la suite du rapport, sont combinés ou organisés dans une architecture particulière dans le but de rendre plus systématique le processus d’estimation du risque. Un exemple d’un tel outil, avec une architecture en matrice de risque à deux paramètres, est présenté à la figure ci-dessous.

Probabilité d’occurrence du dommage	Gravité du dommage		
	Léger	Modéré	Grave
Improbable	Faible	Tolérable	Modéré
Possible	Tolérable	Modéré	Intolérable
Probable	Modéré	Intolérable	Intolérable

Figure 2 – Exemple d’outil d’estimation du risque.

Etherthon (2007) a pu confirmer que les résultats de l’appréciation du risque sont obtenus en colligeant et en analysant des informations qualitatives concernant la gravité des blessures ou des dommages à la santé, et concernant la probabilité d’occurrence des évènements pouvant causer ces lésions. Toutefois, certains experts de l’estimation des risques associés aux machines ont observé 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). Une certaine variabilité dans les résultats de l’estimation du risque peut être considérée comme « naturelle », et donc tolérable, mais une trop grande dispersion peut éventuellement mener à des mesures de réduction du risque inappropriées (insuffisantes ou excessives) (Parry, 1999). Abrahamsson (2000) souligne le fait que certains utilisateurs potentiels des outils d’estimation du risque les perçoivent comme peu crédibles ou inutilisables. Ce même auteur a par ailleurs tenté de valider différents outils d’estimation du risque, en particulier dans le contexte de l’exposition professionnelle aux produits chimiques (Abrahamsson, 2002). Sa recherche était axée exclusivement sur l’analyse des variables liées à l’outil (ex. : modèle, paramètres), sans analyser les autres variables qui peuvent affecter l’estimation des risques (ex. : formation préalable, caractéristiques des personnes exécutant l’analyse des risques). Il a conclu que l’incertitude est inhérente à l’estimation du

risque, mais que des lignes directrices spécifiques à différents secteurs industriels pourraient permettre d'améliorer ce processus.

L'utilisation d'outils d'estimation du risque communs appliqués à la sécurité des machines nécessite l'interprétation d'informations qui sont souvent de nature qualitative, en utilisant généralement une échelle ordinale comme celle définie par Stevens (1946). Or, plusieurs outils d'estimation du risque ne sont pas très précis ou détaillés (Chinniah et al., 2011). Par exemple, une échelle verbale qualitative du type *Highly unlikely*, *Unlikely* et *Likely* est utilisée dans certains outils pour déterminer la probabilité d'occurrence d'un dommage. Or, rien ne définit les degrés de cette échelle. Il est donc difficile d'établir la signification exacte de *Unlikely*, par exemple. Ce genre de construction peut créer des biais dans le processus d'estimation et influencer significativement le résultat final (Duijm, 2015; Carey et Burgman, 2008; Christensen et al., 2003; Cox, 2008; Patt et Schrag, 2003). Beyth-Marom (1982) a rapporté les résultats d'une expérience menée dans un organisme spécialisé en prévisions professionnelles, auprès de personnes habituées à donner des évaluations de probabilité verbales (« probable », « possible », etc.). Cette étude a mis en évidence les problèmes de communication causés par les expressions verbales de probabilité. Elle a aussi révélé qu'il existe une grande variabilité dans l'interprétation des expressions verbales de probabilité, comme l'ont confirmé Hubbard et Evans (2010).

Néanmoins, et malgré les problèmes inhérents aux échelles ordinales qualitatives décrits dans la littérature (Franceschini et al., 2004; Hubbard et Evans, 2010; Smith et al., 2009; Woodruff, 2005), il convient de tenir compte de l'utilisation intensive de ces échelles pour l'évaluation des risques dans les domaines où les données quantitatives ne sont pas facilement disponibles, comme c'est le cas en matière de sécurité des machines. Il y a aussi de nombreux avantages à l'utilisation des échelles ordinales qualitatives dans les outils d'estimation du risque, comme celui de fournir une approche simple et efficace et un cadre clair pour l'examen systématique des situations dangereuses (Ni et al., 2010). Par conséquent, et tel que le suggèrent plusieurs auteurs, des recherches sont nécessaires afin de *mieux caractériser les conditions dans lesquelles ils sont plus susceptibles d'être utiles ou nuisibles à la prise de décision dans la gestion des risques* (Cox, 2008; Lamy et Charpentier, 2008; Aven, 2012).

Considérant a) l'utilisation croissante d'outils d'estimation qualitative des risques dans le domaine de la sécurité des machines, b) la grande diversité de ces outils et c) la différence significative entre les résultats qu'ils produisent, une programmation thématique de recherche a été lancée par l'IRSST en 2004, dans le but d'analyser en profondeur les caractéristiques des outils proposés dans la littérature ou utilisés dans l'industrie (Paques et Gauthier, 2006). Deux études déjà complétées de cette programmation ont permis de révéler que les nombreux outils qui permettent de réaliser la phase d'estimation du risque se présentent sous des formes très diverses, et que plusieurs de leurs caractéristiques peuvent influencer de façon importante le niveau de risque obtenu par leur application (Paques et al., 2005b; Paques et Gauthier, 2007; Chinniah et al., 2011). Ces études ont permis de démontrer que les outils présentent des différences significatives dans l'estimation des risques pour une même situation dangereuse. Le domaine d'application de l'outil, sa configuration et les détails de ses paramètres semblent être les principaux facteurs contributifs à cette variabilité des résultats. Des défauts ou des biais dans la construction des outils, susceptibles d'influencer le résultat dans certaines circonstances, ont été établis (Gauthier et al., 2010). Ces défauts ou biais peuvent être définis comme des

caractéristiques particulières de certains outils qui, au cours des études précédentes, ont montré leur potentiel à générer des estimations erronées dans certains cas.

Dans le rapport R-684¹ publié par l'IRSST, Chinniah et al. (2011) ont suggéré qu'en raison de ces défauts de construction, l'estimation du risque à l'aide de différents outils par différents utilisateurs pourrait conduire à une large dispersion des résultats de l'estimation du risque. Une série de règles de construction visant à éviter les défauts dans les outils d'estimation du risque a aussi été proposée (Chinniah et al., 2011; Gauthier et al., 2012). Les règles de construction proposées sont présentées au tableau 1.

¹ <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-684.pdf>

Tableau 1. Défauts et règles de construction des outils d'estimation du risque (Gauthier et al., 2012).

Règle concernant...	Application	Libellé du défaut	Règle de construction	
Les défauts dans les paramètres d'estimation du risque	Pour les paramètres utilisés	Pauvre définition du paramètre	Définir explicitement le libellé de chaque paramètre (ex. probabilité d'occurrence <u>de l'évènement dangereux</u> par rapport à la probabilité d'occurrence <u>du dommage</u>)	
		Aucune définition de l'intervalle d'exposition	Définir les paramètres de probabilité et d'exposition en lien avec un intervalle d'exposition	
	Pour les niveaux des paramètres	Pauvre définition des niveaux	Éviter l'emploi de termes uniques ou vagues pour définir les niveaux des paramètres	
		Définitions incohérentes des différents niveaux	Éviter l'emploi d'un même terme ou d'une même expression dans la description de deux niveaux d'un paramètre	
		Nombre de niveaux inadéquat		Utiliser entre trois et cinq niveaux pour le paramètre de gravité du dommage
				Utiliser entre trois et cinq niveaux pour le paramètre de probabilité d'occurrence du dommage
		Écart entre les niveaux	Pas de discontinuité ou d'écart entre les niveaux des paramètres	
L'architecture des outils d'estimation du risque	Pour la configuration de l'outil	Famille d'outil inappropriée	Graphe ou matrice de risque	
		Configuration non standard	Conforme à ISO 12100:2010 (2 ou 4 paramètres)	
		Non calibré pour les risques machines	Adapté pour l'estimation des risques machines	
	Pour le résultat de l'application de l'outil (niveau ou indice de risque obtenu)	Nombre de niveaux de risque insuffisant	Définir au moins quatre niveaux de risque	
		Distribution non uniforme	Distribution uniforme des niveaux de risque dans la matrice	
		Discontinuité des niveaux de risque	Pas plus d'un niveau de risque d'écart entre deux cellules adjacentes	
		Poids relatif d'un paramètre trop important	Équilibrer l'influence relative de chaque paramètre sur le niveau de risque	

Ces règles pourraient potentiellement résoudre certains des problèmes liés à la variabilité significative qui a été observée dans les estimations de risque. Elles pourraient aussi guider les utilisateurs dans le choix ou dans l'amélioration des outils d'estimation du risque existants. Cependant, des recherches supplémentaires étaient nécessaires afin de confirmer l'impact des défauts dans les outils d'estimation du risque et de valider les règles de construction proposées par le biais d'une étude expérimentale impliquant des utilisateurs issus de l'industrie. Il s'agit de l'objectif proposé dans cette troisième étude de la programmation thématique de recherche sur l'estimation du risque machine.

1.3 Objectifs de la recherche

Fondamentalement, les outils d'estimation du risque servent à distinguer qualitativement les risques les plus critiques de ceux qui le sont moins. Pour s'acquitter de cette tâche, ces outils doivent être conçus de manière à ce que le niveau de risque obtenu par différents utilisateurs lors de l'application d'un outil à un scénario donné soit plus ou moins similaire. De même, les niveaux de risque obtenus par différents outils pour un même scénario devraient également présenter certaines similitudes. Enfin, lorsque différents outils sont appliqués à différents scénarios, ceux-ci devraient classer les risques dans le même ordre.

L'hypothèse sous-jacente à la présente étude était qu'une variabilité trop importante dans les estimations de risque peut être attribuée à la présence de défauts ou de biais de construction dans les outils. Autrement dit, les défauts ou les biais dans les paramètres et les outils augmentent la variabilité des résultats, soit le niveau du paramètre sélectionné ou le niveau de risque estimé, parmi les utilisateurs. Ainsi, cette étude visait à mieux comprendre le processus d'estimation du risque en sécurité des machines et à déterminer les variables des outils qui peuvent influencer leur juste estimation. Les expériences antérieures suggèrent en effet que des outils bien structurés et des paramètres d'estimation du risque soigneusement définis peuvent réduire l'impact des biais inhérents aux échelles ordinales qualitatives.

Les objectifs de ce troisième projet de la programmation thématique de recherche de l'IRSST sur l'estimation du risque machine étaient donc de :

1. Confirmer les impacts et les fondements des défauts dans les paramètres d'estimation du risque, établis lors de l'étude précédente (rapport R-684);
2. Confirmer les impacts et les fondements du non-respect des règles de construction, établis lors de l'étude précédente (rapport R-684), concernant l'architecture des outils d'estimation du risque;

Considérant que les outils d'estimation du risque sont constitués de paramètres spécifiques et que le résultat de leur application (c'est-à-dire le niveau ou l'indice de risque obtenu) est fonction de la définition et de l'arrangement de ces paramètres, cette étude a porté sur a) des paramètres d'estimation de risque analysés séparément et b) des outils d'estimation des risques complets. Il était attendu que les défauts dans les paramètres et le non-respect des règles de construction concernant l'architecture des outils augmentent la dispersion des résultats expérimentaux soit le niveau du paramètre sélectionné ou le niveau de risque obtenu.

Ce projet a été mené par une équipe de chercheurs spécialisés dans la démarche d'appréciation du risque machine provenant de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), de Polytechnique Montréal (PM), de l'IRSST, et du Health and Safety Laboratory (HSL) au Royaume-Uni. L'objectif de cette collaboration entre l'équipe UQTR-PM-IRSST et l'équipe du HSL visait à augmenter le potentiel de la recherche en partageant l'expertise dans la définition de la méthodologie détaillée, incluant la préparation des outils de collecte de données, et dans l'analyse comparative des résultats obtenus. Par contre, la collecte de données elle-même, qui nécessitait la participation d'utilisateurs issus de l'industrie, a été réalisée indépendamment par l'équipe UQTR-PM-IRSST et par l'équipe du HSL.

À terme, cette étude visait à définir des critères clairs et utilisables en industrie pour l'évaluation, la sélection ou la construction d'outils d'estimation du risque en sécurité des machines.

2. MÉTHODOLOGIE

Afin de mettre en place une expérimentation qui réponde aux objectifs de l'étude, les éléments méthodologiques suivants ont été déterminés conjointement par les équipes de l'UQTR-PM-IRSST et du HSL :

- les scénarios sur lesquels les paramètres et les outils d'estimation du risque sont testés;
- les paramètres et les outils à tester et la raison de ces choix;
- les critères de choix des sujets;
- le protocole expérimental qui détermine comment les paramètres pris séparément (premier bloc d'expérimentations) et les outils d'estimation du risque (second bloc d'expérimentations) sont appliqués par les sujets;
- les questions complémentaires au travail d'estimation afin d'obtenir l'opinion des sujets sur les choix effectués et les résultats obtenus;
- les méthodes d'analyse des résultats que ce soit pour les paramètres ou pour les outils.

Dans cette section, ces éléments sont détaillés en trois temps : (i) la phase préparatoire avec le choix des scénarios, des paramètres, des outils et des sujets, (ii) le protocole expérimental et (iii) l'analyse des résultats expérimentaux.

2.1 Phase préparatoire

Plusieurs éléments méthodologiques utilisés lors de la phase préparatoire se basent sur le rapport R-684 publié par l'IRSST et qui correspond à l'étude théorique précédente sur les outils d'estimation du risque (Chinniah et al., 2011).

2.1.1 *Sélection et préparation des scénarios de situations dangereuses*

Quatre scénarios liés à des machines industrielles ont été sélectionnés parmi les 20 développés et validés lors de l'étude théorique précédente (Chinniah et al., 2011). Afin de limiter les biais lors de l'expérimentation, il a été convenu que les scénarios sélectionnés devaient :

- illustrer un risque mécanique et être lié à la sécurité d'un travailleur (et non à sa santé) : les processus menant à des lésions de type blessure (processus accidentels) sont généralement plus faciles à interpréter que ceux menant à des maladies professionnelles, notamment en raison des difficultés reliées à la détermination de la période d'exposition nécessaire pour entraîner la maladie;

- être relativement facile à comprendre et avoir un niveau de détails suffisants : les situations peu complexes et non spécialisées peuvent être évaluées par des personnes qui sont familières avec la sécurité des machines en général;
- décrire une activité de travail liée à la phase de production plutôt qu'une activité moins fréquente comme la maintenance : les activités de production impliquent une opération plus fréquente de la machine, ce qui facilite l'estimation de l'exposition;
- illustrer quatre niveaux de risque distincts (c.-à-d. faible, intermédiaire-faible, intermédiaire-élevé, élevé) et avoir obtenu un faible écart-type lors de son application théorique en se basant sur les résultats de l'étude précédente : les niveaux de risque de chaque situation sont ainsi plus facilement discernables.

Les scénarios retenus, codés A, G, M, et S lors de l'étude précédente, sont résumés au tableau 2. Le niveau de risque associé à chaque scénario correspond à la moyenne des niveaux de risque obtenus avec les 31 outils d'estimation du risque de l'étude précédente (Chinniah et al., 2011).

Tableau 2. Description des quatre scénarios retenus pour l'expérimentation pratique.

Scénario	Titre	Résumé de l'activité de travail	Niveau de risque associé
A	Poinçonneuse avec table mobile	Démonstration fonctionnelle d'une machine de poinçonnage lors d'une exposition commerciale	Faible (47,7 %)
G	Véhicule autoguidé ou à guidage automatique (VGA)	Déplacement d'un véhicule autoguidé (sans conducteur) à travers une usine en suivant le tracé peint en jaune sur le sol.	Intermédiaire-faible (61,9 %)
M	Bobineuse (machine à papier)	Finition sur la bobine de papier (enlèvement des parties irrégulières du rouleau) tandis que l'enrouleur est sous-tension en mode manuel	Intermédiaire-élevé (74,8 %)
S	Robot	Changement d'outil par un travailleur sur un tour à commande numérique. Présence d'un robot qui alimente le tour en pièces en métal.	Élevé (85 %)

L'Annexe A présente les scénarios tels que fournis aux sujets lors de l'expérimentation. Chaque scénario comporte une image de la machine ainsi qu'une description de l'activité, du phénomène dangereux, de la situation dangereuse, de l'évènement dangereux, de sa probabilité d'occurrence, des dommages possibles, des données d'exposition et des données d'évitement. Ce découpage de l'information pour décrire un scénario est basé sur les éléments composant le processus accidentel et le risque selon la norme ISO 12100:2010.

2.1.2 Sélection et préparation des paramètres d'estimation du risque

Les six types de paramètres d'estimation du risque testés dans le premier bloc d'expérimentations sont ceux préconisés en sécurité des machines par la norme ISO 12100:2010, nommément :

- Gravité du dommage (S);
- Probabilité d'occurrence du dommage (Ph), paramètre qui peut lui-même être décomposé en trois paramètres :
 - Fréquence d'exposition (Exf) et/ou durée d'exposition (Exd);
 - Probabilité d'occurrence d'un évènement dangereux (Pe);
 - Possibilité d'évitement (A).

Lors de l'étude théorique précédente, six défauts associés aux paramètres ont été caractérisés (tableau 1). Le but de l'expérimentation pratique menée dans le cadre de la présente étude était de tester l'impact de ces défauts (sauf le défaut « pauvre définition du paramètre », qui n'a pas été évalué) lorsqu'ils affectent les différents types de paramètres. Toutefois, toutes les combinaisons de tests n'ont pas été retenues lors de l'expérimentation à cause (i) de la difficulté à trouver tous les défauts sur tous les types de paramètres avec la banque d'outils d'estimation du risque à disposition (ex. nombre de niveaux inadéquat pour Exd, Exf et A), et (ii) du fait que certains défauts semblaient avoir plus d'impact sur certains types de paramètres lors de l'étude précédente (ex. nombre de niveaux inadéquat pour S).

Au final, 20 paramètres représentant tous les types de paramètres d'estimation du risque ont été sélectionnés par les équipes de recherche pour l'expérimentation. La description de chaque paramètre ainsi que le défaut pressenti qui lui est associé sont présentés à l'Annexe B. Afin d'éviter un biais difficilement mesurable lié à la compréhension de l'anglais, les paramètres ont été traduits et ils sont présentés en français.

2.1.3 Sélection et préparation des outils d'estimation du risque

Six outils ont été choisis pour le second bloc d'expérimentations. Ce nombre est un compromis pour respecter le temps imparti pour les expérimentations. Dans l'ordre, les critères de sélection des outils utilisés ont été de :

- Considérer uniquement les outils d'estimation du risque qui sont (i) présentement utilisés, (ii) faciles à utiliser en lisant les instructions disponibles, et (iii) initialement développés pour la sécurité des machines;

- Considérer ensuite les outils qui respectent au mieux les règles de construction de l'étude précédente concernant leur architecture (tableau 1). Bien que l'objectif était de sélectionner des outils aussi impeccables que possible, ceux-ci pouvaient tout de même présenter certains défauts de construction;
- Choisir des outils avec des tendances d'estimation diverses selon les résultats de l'étude précédente.

À partir de ces critères, quatre outils d'estimation du risque ont d'abord été sélectionnés par consensus au sein des équipes de recherche parmi les 31 outils recensés lors de l'étude théorique précédente (outils #19, #24, #69 et #89). Deux outils, numérotés #91 et #114 lors de l'étude précédente, ont également été choisis parce qu'ils ont été développés par les deux principales organisations participantes à l'étude, soit l'IRSST (outils #91) et le HSL (outils #114). Ces outils ne respectent pas toutes les règles de construction concernant l'architecture des outils d'estimation du risque (Chinniah et al., 2011). Les écarts par rapport à ces règles de construction sont :

- Pour l'outil #91 :
 - Distribution non uniforme (la possibilité d'obtenir les niveaux de risque 1 et 2 est plus grande);
 - Discontinuité des niveaux de risques;
 - Poids relatif d'un paramètre trop important (S).
- Pour l'outil #114 :
 - Configuration non standard (absence du paramètre P_e).
 - Distribution non uniforme (la probabilité d'obtenir chacun des niveaux de risque n'est pas égale).

Le tableau 3 présente les caractéristiques des outils retenus. Afin d'éviter un biais difficilement mesurable lié à la compréhension de l'anglais, les outils ont été traduits et présentés en français. Par ailleurs, les sujets n'ont pas eu accès aux outils dans leur forme originale (Annexe C) lors de l'expérimentation. Seule une version standardisée des paramètres de l'outil (donc sans le processus de calcul du niveau risque) leur a été présentée afin qu'ils ne puissent pas anticiper le niveau de risque résultant (Annexe D).

Tableau 3. Outils d'estimation sélectionnés pour l'expérimentation.

Outil	Nombre de niveaux						Niveau de risque issu de l'étude précédente (%)						Référence	
	Paramètres						R	Tendance	Moyenne	Scénario				
	S	Ph	Exf	Exd	Pe	A				A	G	M		S
#19	3		2		3	2	4	Basse	50	25	25	50	75	Ekelenburg et al. (1996)
#24	4	4					4	Haute	85	75	100	100	100	ANSI B11.TR3 (2000)
#69	4			2	3	2	11	Intermédiaire	64,1	27,3	45,5	63,6	81,8	Görnemann (2003)
#89	3	4					6	Intermédiaire	63,1	50	66,7	66,7	66,7	The MMMPIC (2002)
#91	2		2		3	2	6	Basse	50,8	33,3	66,7	33,3	33,3	ISO 14121-2:2007
#114	4	4	4			4	4	Haute	78,4	66,7	66,7	33,3	100	HSL (2012)

R : niveau de risque

2.1.4 Sélection des sujets pour l'expérimentation

Afin de garantir l'obtention de données homogènes et fiables, les sujets participant à l'étude devaient posséder les connaissances et l'expérience suffisantes sur (i) le processus d'appréciation du risque, et (ii) l'utilisation d'outils d'estimation du risque. Ainsi, pour participer à l'étude, les candidats potentiels devaient satisfaire aux critères suivants :

- Le sujet est connu pour avoir une certaine expérience en sécurité des machines;
- Le sujet s'autoévalue au minimum comme ayant un niveau d'expérience « moyen » en analyse de risque appliquée aux machines (sur une échelle : faible, moyen, bon, très bon).
- Le sujet a réalisé au cours des cinq dernières années au minimum :
 - une analyse de risque appliquée aux machines si le candidat avait suivi une formation officielle sur le sujet;
 - cinq analyses de risque appliquées aux machines si aucune formation spécifique n'avait été suivie.

Ces informations sur les candidats ont été vérifiées lors du processus de recrutement à l'aide d'un questionnaire. De plus, afin de valider leur perception des risques, il a été demandé aux sujets d'estimer intuitivement le risque de chaque scénario en utilisant une échelle analogique (soit une ligne de 10 cm). Il est important de préciser que cette échelle, présentée sur une feuille à part, ne pouvait plus être consultée par la suite. Les résultats obtenus étaient en adéquation avec le niveau de risque associé présenté au tableau 2. Les moyennes obtenues pour chaque scénario étaient A : 36,4 % ; G : 35,6 % ; M : 66,4 % ; et S : 73,8 %.

Conformément au protocole, un échantillon de 25 participants a été obtenu. Ces volontaires étaient à parts relativement égales (i) des conseillers d'associations sectorielles en SST (paritaires ou patronales), (ii) du personnel de maintenance ou des préventeurs en entreprises, et (iii) des ingénieurs spécialisés en sécurité des machines. Tous les sujets ont signé un formulaire de consentement et la confidentialité des informations recueillies était garantie selon les règles établies par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQTR (numéro de certificat CER-12-180-06.10).

2.2 Protocole expérimental

Afin d'harmoniser les expérimentations, un protocole expérimental a été développé puis testé en condition réelle par deux membres de l'équipe de recherche et deux sujets potentiels.

Les expérimentations se sont déroulées sur le lieu de travail du sujet. Lors de la confirmation du rendez-vous, il était demandé au sujet de mettre à disposition un lieu calme ainsi qu'un ordinateur avec une connexion internet pour accéder aux différents questionnaires en ligne. La durée moyenne des expérimentations a été de 5 h 30, sans compter les pauses. Le sujet était accompagné en tout temps par le chercheur. Ce dernier avait le contrôle de l'ordinateur afin que le sujet se concentre uniquement sur ses choix de réponses. Toutefois, les questionnaires étant d'une nature assez répétitive, le sujet pouvait manipuler lui-même l'ordinateur en cours d'expérimentation s'il en exprimait l'envie.

Le chercheur menant l'expérimentation avait à sa disposition deux grilles (une pour chacun des blocs) développées sous le logiciel Excel© où un hyperlien pour chacun des cas d'expérimentation était disponible (c.-à-d. outil X/scénario Y; paramètre X/scénario Y). Chaque hyperlien renvoyait au questionnaire dédié. L'ensemble des questionnaires a été élaboré avec le logiciel de questionnaires en ligne disponible sur l'intranet sécurisé de l'UQTR. Ce logiciel a été choisi, car il offrait toutes les fonctionnalités nécessaires comme la sauvegarde, la sécurisation et l'extraction des données.

Les deux blocs d'expérimentations étaient réalisés successivement. Toutefois, afin de limiter les biais liés à la construction cognitive de la séquence des estimations par les sujets, l'ordre des questionnaires était aléatoire d'un sujet à l'autre : les grilles Excel© étaient mélangées avant le début de chacun des deux blocs. Un questionnaire post-expérimentation a également été utilisé afin de vérifier si le sujet était familier avec l'un des scénarios ou des outils, puis de recueillir ses impressions sur l'expérimentation.

Le protocole expérimental détaillé est présenté à l'Annexe E. En ce qui concerne le bloc d'expérimentations des outils, il est important de préciser que le sujet n'avait pas accès directement au résultat découlant de ses choix pendant le processus. Ce n'est qu'une fois que tous les niveaux des paramètres de l'outil avaient été choisis que l'expérimentateur pouvait déterminer le niveau de risque résultant et le présenter au sujet. Le sujet n'avait donc pas la possibilité « d'arranger » son estimation.

Tous les questionnaires ont été validés par deux membres de l'équipe de recherche qui n'ont pas participé à leur création afin de s'assurer de la fonctionnalité du système et de l'exactitude des intitulés extraits des outils.

2.3 Analyse des résultats

2.3.1 Analyse des impacts des défauts des paramètres d'estimation du risque

L'impact de la présence des différents défauts des paramètres d'estimation du risque a été analysé à partir des résultats colligés au cours de la phase expérimentale, à savoir, pour l'application de chaque paramètre à chaque scénario par les sujets :

- Le niveau choisi par le sujet;
- Le niveau de difficulté, sur une échelle de 1 à 5 (très facile à très difficile), indiqué par le sujet;
- Les commentaires émis par le sujet.

Les niveaux choisis par les 25 sujets ont été répartis en pourcentage selon les différents niveaux de chaque paramètre. Le mode a ensuite été déterminé pour chaque cas. Le mode est défini ici comme étant le niveau d'un paramètre donné choisi par le plus grand nombre de sujets pour un scénario donné. Le pourcentage modal est donc la proportion des 25 sujets ayant répondu un même niveau pour un paramètre donné, appliqué à un scénario donné. Ce pourcentage a permis de fournir une indication quant à la convergence (ou la divergence), c'est-à-dire la répétabilité des réponses des sujets en fonction de chaque défaut et de chaque paramètre (répétabilité intersujets). Ainsi, plus le pourcentage modal est élevé, meilleure est la convergence des résultats de l'application d'un paramètre. Toutefois, le pourcentage modal étant affecté par le nombre de niveaux de chaque paramètre, seules les valeurs inférieures ou égales à 60 % ont été considérées comme une indication d'une moins bonne convergence des résultats.

Le pourcentage modal ne permettant pas d'établir l'exactitude des réponses obtenues, les résultats ont aussi été comparés au niveau de référence établi de chaque paramètre pour chaque scénario. En effet, l'étude précédente (Chinniah et al., 2011) avait permis d'établir un niveau de référence, établi par un consensus de six experts (méthode Delphi), pour les mêmes scénarios et les mêmes paramètres d'estimation du risque étudiés ici. Cette comparaison a permis d'évaluer la performance de chaque paramètre, de même que l'impact potentiel de chaque défaut, par le pourcentage des sujets ayant choisi le niveau de référence.

Outre la convergence des résultats et leur adéquation avec les niveaux de référence, une analyse de la facilité d'application de chaque paramètre a été réalisée. Au cours de l'expérimentation, les sujets devaient indiquer, sur une échelle de 1 à 5, le niveau de difficulté d'application de chaque paramètre à chaque scénario selon l'énoncé suivant : *Les descriptions, les définitions ou le nombre de niveaux de ce paramètre ont rendu mon choix...* (Annexe E, figure 18, question 3.2).

Le nombre de sujets ayant indiqué un niveau de difficulté 4 (Assez difficile) ou 5 (Très difficile) a été comptabilisé comme indicateur du niveau de difficulté.

De plus, les commentaires émis par les sujets à chaque occasion ont été comptabilisés et classés en trois catégories :

1. Les commentaires généraux : commentaires neutres ou positifs indiquant, par exemple, la facilité d'application du paramètre dans un cas donné ou soulignant une caractéristique d'un paramètre. Par exemple :
 - *Pas de chevauchement, description simple et claire;*
 - *Plutôt clair. Le découpage a rendu le choix facile;*
 - *Net et précis dans ce cas; « On/Off »;*
 - *L'ajout du mot « normalement » permet un choix plus précis;*
 - *Assez de niveaux. Suffisamment claire comme définition... colle bien avec le cas.*
2. Les commentaires négatifs sur le défaut en présence : commentaires émis par les sujets et qui pointent directement le défaut présent dans le paramètre. Le nombre de commentaires négatifs émis par les sujets sur chaque défaut a été utilisé comme un indicateur de la perception et de l'impact des défauts à l'étude. La nature même des commentaires permettait également de mieux comprendre l'impact des différents défauts dans le processus d'estimation du risque. Afin d'associer ces commentaires aux différents défauts, des tables linguistiques ont été élaborées pour chaque défaut. Ces tables fournissaient des mots ou des expressions clés, permettant de lier le commentaire au défaut. Chacun des commentaires a donc été comparé avec la liste des mots clés par l'équipe de chercheurs. Par exemple, pour le défaut « Écart entre les niveaux », les commentaires suivants ont été relevés et les mots ou expressions soulignés ont permis de lier le commentaire au défaut :
 - *Choix contradictoires? Il y a un trou entre moins d'une fois par jour et plus d'une fois par heure;*
 - *Manque un intervalle : deux fois par quart n'est pas considéré, il se trouve entre les deux paramètres;*
 - *Il n'y a pas assez de niveaux pour cerner mon choix : (va entre les deux);*
 - *Moins d'une fois par jour, c'est quoi? Niveau intermédiaire manquant;*
 - *Ça ne marche pas. Il y a un trou entre E1 et E2;*
 - *Il y a un espace non couvert entre les deux niveaux.*

3. Les commentaires négatifs sans lien avec le défaut en présence : commentaires indiquant une difficulté ou pointant un aspect négatif de l'application du paramètre, sans lien avec le défaut présent dans le paramètre. Ces commentaires ont été analysés afin de noter la présence d'autres problématiques (avec la construction des paramètres) qui ont pu être relevées par les sujets.

À partir de ces données, l'impact de la présence des différents défauts des paramètres d'estimation du risque a été analysé globalement, de même que séparément, pour chacun des types de paramètres. Des analyses croisées de ces données ont aussi été réalisées.

2.3.2 Analyse des impacts des défauts des outils d'estimation du risque

Trois critères ont été utilisés pour analyser les données de chaque outil testé :

- La **capacité à distinguer des scénarios** à niveaux de risque différents;
- La **satisfaction** de l'utilisateur quant au résultat obtenu;
- La **convergence** des résultats (répétabilité intersujets).

Ces critères abordent trois facettes différentes des résultats. En effet, un outil avec une bonne convergence, mais incapable de distinguer des scénarios à niveaux de risque différents, sera inutile. De même, un outil peut avoir une bonne convergence et une bonne capacité à discriminer les scénarios, mais si les utilisateurs en sont insatisfaits ils ne l'utiliseront pas. La capacité à distinguer des scénarios reflète la performance globale de l'outil.

2.3.2.1 Capacité à distinguer des scénarios à niveaux de risque différents

Comparer les niveaux de risque obtenus par sujet pour les quatre scénarios a permis de savoir si un outil était en mesure de distinguer les scénarios ayant des niveaux de risque de référence différents. En complément, pour s'assurer que les scénarios sont distingués « correctement », il était nécessaire de comparer le classement des scénarios selon leur niveau de risque calculé par rapport au classement de référence déterminé lors de l'étude précédente (Chinniah et al., 2011). Pour rappel, selon cette étude, les scénarios sont classés par ordre croissant de niveau de risque comme suit : scénario A, scénario G, scénario M et scénario S. À des fins d'analyse, le nombre de récurrences des différents cas décrits au tableau 4 a été comptabilisé.

Tableau 4. Critères utilisés pour l'analyse des classements des scénarios.

Élément de comparaison	Condition
Nombre de classements comparables avec le classement de référence.	- Pas d'inversion par rapport au classement de référence <u>et</u> , - Pas plus de deux scénarios consécutifs avec le même niveau de risque.
Nombre de cas où trois ou quatre scénarios sont estimés au même niveau de risque.	- Trois ou quatre scénarios avec le même niveau de risque.
Nombre de cas d'inversion des niveaux de risque des scénarios par rapport à l'ordre de référence.	- Deux scénarios non consécutifs avec le même niveau de risque <u>ou</u> , - Classement obtenu strictement différent du classement de référence.

En l'absence de seuil critique précis pour le critère de capacité à distinguer les scénarios, une analyse qualitative a été effectuée pour évaluer la performance des outils.

2.3.2.2 Satisfaction de l'utilisateur

Les réponses aux questions 2.2 et 2.3 des questionnaires pour le test des outils d'estimation du risque (Annexe D) ont été utilisées pour évaluer la satisfaction des utilisateurs quant aux résultats obtenus. Deux indices ont été définis à partir de ces questions :

- Le nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu (sujets ayant répondu « Plutôt en désaccord » ou « Tout à fait en désaccord »);
- Le nombre de commentaires négatifs (total puis séparé selon la nature du commentaire : niveau de risque trop élevé ou niveau de risque trop faible).

Le nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu reflète le niveau général d'insatisfaction des utilisateurs. Toutefois, certains utilisateurs indiquaient qu'ils étaient d'accord avec le niveau de risque obtenu, compte tenu des choix qu'ils ont faits pour chaque paramètre. Parmi ceux-ci, plusieurs ont tout de même pris du recul et commenté que, sans égard aux choix qu'ils ont dû faire, le niveau de risque obtenu ne correspondait pas à leur perception. Il est donc nécessaire de considérer le nombre de commentaires négatifs.

Par ailleurs, les commentaires négatifs ont été séparés selon leur nature (c.-à-d. niveau de risque obtenu trop faible ou trop élevé), afin de savoir pourquoi les utilisateurs sont en désaccord.

Les seuils à partir desquels les points ont été considérés comme problématiques pour un outil sont :

- 7 sujets ou plus sont en désaccord avec le niveau de risque obtenu pour un scénario;
- 10 sujets ou plus ont émis un commentaire négatif pour un scénario.

2.3.2.3 Convergence des résultats

De même que pour l'analyse des impacts des défauts des paramètres d'estimation du risque, le pourcentage modal a été utilisé pour fournir une indication sur la convergence des résultats obtenus avec les outils (voir sous-section 2.3.1). Il s'agit donc de la proportion des 25 sujets ayant obtenu un même niveau de risque pour un outil donné. Afin de comparer les pourcentages modaux entre les outils, il fut nécessaire d'établir une échelle d'équivalence pour ramener tous les outils à quatre niveaux de risque. En effet, plus il y a de niveaux de risque plus le pourcentage modal est dilué. Cela qui aura pour effet de diminuer le pourcentage modal pour les outils qui ont le plus de niveaux de risque.

Pour ce faire, l'échelle d'équivalence a été définie en utilisant le pourcentage du maximum comme élément de comparaison, comme utilisé dans l'étude précédente (Chinniah et al., 2011). Les niveaux 1 à 4 sont donc définis par les plages de valeurs respectives de 0 à 25 %, de 25 à 50 %, de 50 à 75 % et de 75 à 100 %. Pour faire correspondre les niveaux des outils ayant plus de quatre niveaux de risque avec ces quatre plages de valeurs, chaque niveau a été défini par la borne maximale de la plage de valeur. Par exemple, le niveau 4 de l'outil #91 comportant six niveaux (1 étant le plus faible), correspond à 66,7 %, il était donc équivalent au niveau 3 d'un outil à quatre niveaux. On obtient ainsi les équivalences de niveaux décrites au tableau 5. Le pourcentage modal utilisé pour quantifier la convergence est celui des outils ramenés à quatre niveaux de risque. Les valeurs de pourcentage modal inférieures ou égales à 60 % ont été considérées comme une indication d'une convergence faible.

Tableau 5. Équivalence des niveaux de risque entre les outils à 4 niveaux et ceux à 6 et à 11 niveaux.

Outils #19, #24, #114 4 niveaux de risque	Outil #89 6 niveaux de risque	Outil #91 6 niveaux de risque	Outil #69 11 niveaux de risque
1 25 %	9,1 % 0	16,7 % 1	18,2 % 1
	16,7 % 6	16,7 % 1	27,3 % 2
			36,4 % 3
2 50 %	33,3 % 5	33,3 % 2	45,5 % 4
	50 % 4	50 % 3	54,5 % 5
			63,6 % 6
3 75 %	66,7 % 3	66,7 % 4	72,7 % 7
			81,8 % 8
			90,9 % 9
4 100 %	83,3 % 2	83,3 % 5	100 % 10
	100 % 1	100 % 6	

3. RÉSULTATS - IMPACT DES DÉFAUTS ASSOCIÉS AUX PARAMÈTRES D’ESTIMATION DU RISQUE

3.1 Convergence globale des résultats en fonction du type de paramètres

L’analyse de la convergence des résultats obtenus pour l’ensemble des sujets a été effectuée sur la base du pourcentage modal des réponses des sujets, comme établi à la sous-section 2.3.1.

Le tableau 6 présente le pourcentage modal obtenu pour chacun des six types de paramètres étudiés en fonction des différents défauts qu’ils contiennent et pour l’ensemble des scénarios (moyenne globale pour les quatre scénarios). En examinant le tableau, on constate d’abord que le pourcentage modal varie sensiblement en fonction des paramètres. Les paramètres « gravité du dommage » ont obtenu des résultats assez cohérents d’un sujet à l’autre, avec un pourcentage modal moyen de 83 %. C’est donc dire qu’en moyenne, 21 des 25 sujets ont obtenu le même résultat dans l’application des paramètres de type « gravité du dommage » pour tous les scénarios étudiés.

Tableau 6. Pourcentage modal obtenu pour chaque type de paramètres en fonction des défauts.

Défauts	Moyenne pour l’ensemble des scénarios (%)						Moyenne par défaut
	Gravité du dommage (S)	Probabilité d’occurrence du dommage (Ph)	Fréquence d’exposition (Exf)	Durée d’exposition (Exd)	Possibilité d’évitement (A)	Probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux (Pe)	
Pauvre définition des niveaux	86	47		67	53		63
Définitions incohérentes des différents niveaux	70	51				43	55
Écart entre les niveaux	86	52	86	72			74
Nombre de niveaux inadéquat	90						90
Aucune définition de l’intervalle d’exposition		47					47
Moyenne par paramètre	83	49	86	69	53	43	65
Sans défaut	89	46	79	75	60	72	70

Cela suggère que le paramètre « gravité du dommage » étudié est relativement robuste malgré la présence de défauts, et qu’il permet d’obtenir un bon consensus entre les utilisateurs sur le niveau de gravité du dommage potentiel que peut présenter une situation.

On observe aussi une assez bonne robustesse des paramètres liés à l'exposition (fréquence et durée). Par contre, les paramètres « probabilité d'occurrence du dommage », « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux » et « possibilité d'évitement » ont offert les moins bonnes performances sur le plan de la convergence des résultats, avec des pourcentages modaux allant de 43 à 53 %. Pour ces paramètres, il semble que les sujets ont eu davantage de difficultés à établir un consensus. En particulier les paramètres de probabilité (probabilité d'occurrence du dommage et probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux), dont le pourcentage modal n'a pas dépassé 52 %. Ce résultat suggère aussi que l'évaluation des probabilités est un aspect problématique de l'estimation du risque.

La dernière colonne du tableau 6 présente le pourcentage modal moyen en fonction de chacun des défauts étudiés. On constate que certains défauts semblent affecter davantage les différents paramètres. Par exemple, le défaut « Définition incohérente des différents niveaux », étudié sur 3 types de paramètres, semble avoir un effet marquant avec un pourcentage modal moyen de 55 %. En le comparant avec le défaut « Écart entre les niveaux », étudié sur quatre types de paramètres, on constate que ce dernier semble moins affecter les paramètres, avec un pourcentage modal moyen de 74 %.

Le tableau 6 montre également le pourcentage modal obtenu pour les paramètres présumés être « sans défaut ». On constate, qu'en moyenne, ces paramètres ont permis d'obtenir un pourcentage modal légèrement supérieur comparativement aux paramètres avec défauts. Ces paramètres « sans défaut » semblent avoir mieux performé pour quatre des six types de paramètres étudiés.

3.2 Analyse globale du niveau de difficulté d'application en fonction du type de paramètres

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats moyens pour l'ensemble des scénarios concernant la difficulté d'application des paramètres avec des défauts étudiés. Le tableau 7 présente d'abord le nombre moyen de sujets ayant indiqué qu'il fut assez difficile ou très difficile (réponse 4 ou 5) de faire leur choix de niveau pour chaque type de paramètres, en fonction des défauts étudiés. Comme on le constate, c'est le défaut « Pauvre définition des niveaux » qui semble avoir présenté le plus de difficultés pour les sujets, avec une moyenne de 7,4 sujets ayant indiqué un niveau de difficulté de 4 ou 5 à chaque occasion. Le défaut « définition incohérente des différents niveaux » suit avec une moyenne de 6,2 sujets. Le tableau 8 présente ensuite le nombre de commentaires négatifs sur le défaut émis par les sujets pour chaque cas.

La figure 3 montre quant à elle la relation entre les données du tableau 7 et celles du tableau 8, soit le nombre de sujets ayant indiqué un niveau de difficulté 4 ou 5 et le nombre de commentaires négatifs sur les défauts. On remarque que la corrélation est relativement bonne entre ces deux résultats, avec $R^2 = 0,87$. Cette corrélation entre le niveau de difficulté et le nombre de commentaires négatifs associés suggère que pour l'ensemble des défauts, lorsque les sujets ont éprouvé des difficultés à faire leurs choix, ils ont généralement été en mesure d'attribuer ces difficultés à la présence des défauts.

Tableau 7. Nombre moyen de sujets ayant indiqué qu'il fut assez difficile ou très difficile de faire leur choix de niveau pour chaque type de paramètres en fonction des défauts.

Défauts	Moyenne pour l'ensemble des scénarios						Moyenne par défaut
	Gravité du dommage (S)	Probabilité d'occurrence du dommage (Ph)	Fréquence d'exposition (Exf)	Durée d'exposition (Exd)	Possibilité d'évitement (A)	Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux (Pe)	
Pauvre définition des niveaux	5,8	7,3		8,3	8,3		7,4
Définitions incohérentes des différents niveaux	7,5	5,0				6,0	6,2
Écart entre les niveaux	2,8	6,5	4,3	10,3			5,9
Nombre de niveaux inadéquat	2,3						2,3
Aucune définition de l'intervalle d'exposition		4,3					4,3
Moyenne par paramètre	4,6	5,8	4,3	9,3	8,3	6,0	5,2
Sans défaut	2,3	6,8	7,5	4,3	5,3	6,3	5,4

Tableau 8. Nombre moyen de commentaires négatifs en lien avec chacun des défauts pour chaque type de paramètres.

Défauts	Moyenne pour l'ensemble des scénarios						Moyenne par défaut
	Gravité du dommage (S)	Probabilité d'occurrence du dommage (Ph)	Fréquence d'exposition (Exf)	Durée d'exposition (Exd)	Possibilité d'évitement (A)	Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux (Pe)	
Pauvre définition des niveaux	10,6	13,0		10,8	11,8		11,5
Définitions incohérentes des différents niveaux	11,3	9,3				10,0	10,2
Écart entre les niveaux	5,0	6,0	10,0	3,0			6,0
Nombre de niveaux inadéquat	5,8						5,8
Aucune définition de l'intervalle d'exposition		1,0					1,0
Moyenne par paramètre	8,2	7,3	10,0	6,9	11,8	10,0	6,9

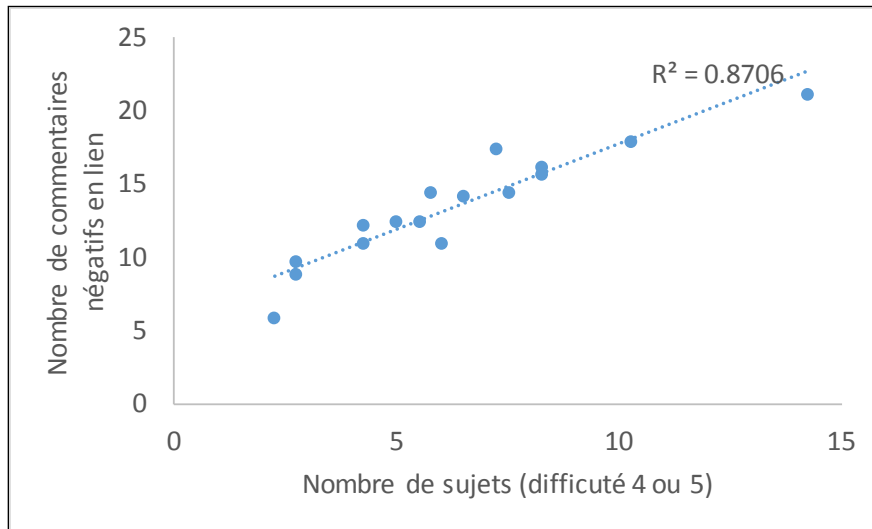


Figure 3 - Relation entre le nombre de sujets ayant indiqué un niveau de difficulté 4 ou 5 et le nombre de commentaires négatifs en lien avec les défauts.

Par contre, comme le montre la figure 4, lorsque l’on combine les données du tableau 7 (nombre de sujets ayant indiqué un niveau de difficulté 4 ou 5) et les pourcentages modaux présentés au tableau 6, la relation est moins évidente. On n’observe en effet aucune corrélation entre ces deux résultats. Ainsi, la perception de la difficulté d’application des différents paramètres n’influence pas la convergence des résultats entre les sujets.

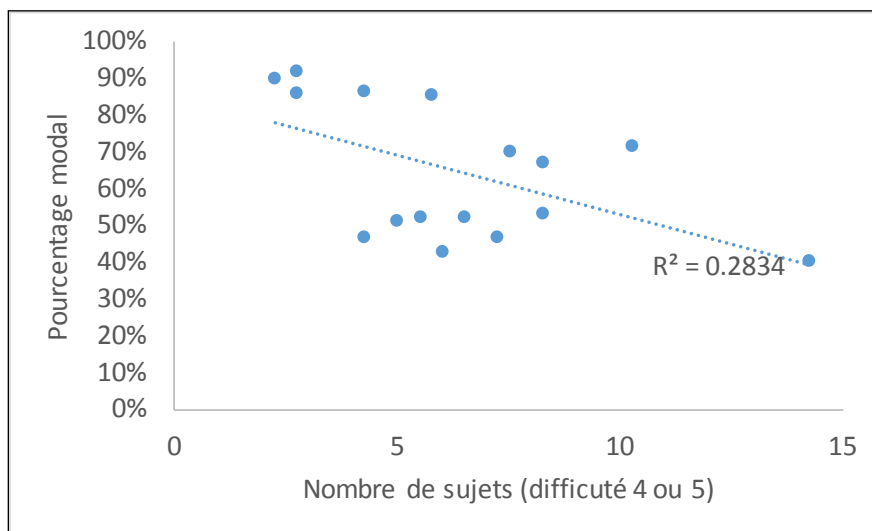


Figure 4 - Relation entre le nombre de sujets ayant indiqué un niveau de difficulté 4 ou 5 et le pourcentage modal.

Des analyses approfondies de ces tendances générales, pour chacun des types de paramètres, sont présentées aux sections suivantes.

3.3 Analyse des défauts associés au paramètre « gravité du dommage (S) »

Le tableau 9 présente les éléments d'analyse du paramètre « gravité du dommage ».

Tableau 9. Analyse du paramètre « gravité du dommage » pour chacun des 4 scénarios.

Gravité du dommage (S)	Outil	N ^{bre} de niveaux	Scénario A				Scénario G				Scénario M				Scénario S			
			Pourcentage modal	N ^{bre} de sujets ayant eu une difficulté à répondre *	N ^{bre} de commentaires négatifs en lien avec le défaut	N ^{bre} de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	N ^{bre} de sujets ayant eu une difficulté à répondre	N ^{bre} de commentaires négatifs en lien avec le défaut	N ^{bre} de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	N ^{bre} de sujets ayant eu une difficulté à répondre	N ^{bre} de commentaires négatifs en lien avec le défaut	N ^{bre} de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	N ^{bre} de sujets ayant eu une difficulté à répondre	N ^{bre} de commentaires négatifs en lien avec le défaut	N ^{bre} de commentaires négatifs total
Pauvre définition des niveaux	#33	3	100	2	4	13	68	9	14	18	88	9	13	15	100	2	3	5
Pauvre définition des niveaux	#55	4	80	5	14	17	64	12	17	19	100	1	6	9	87	6	14	20
Définitions incohérentes des différents niveaux	#66	4	60	8	19	19	56	16	17	22	92	4	6	11	74	2	3	6
Sans défaut	#69	4	92	1	0	6	68	8	0	14	96	0	0	4	100	0	0	2
Nombre de niveaux inadéquat	#91	2	100	0	3	3	60	9	11	12	100	0	6	6	100	0	3	3
Écart entre les niveaux	#102	3	56	4	4	12	88	6	7	13	100	1	6	8	100	0	3	3

* Nombre de sujets ayant répondu que leur choix fut « Assez difficile » ou « Très difficile » (sous-section 2.3.1)

3.3.1 Description des paramètres et des défauts étudiés

Six paramètres « gravité du dommage » ont été utilisés pour évaluer l'impact des différents défauts. Les tableaux 10 à 15 montrent une compilation des choix faits par les sujets pour chacun de ces paramètres et pour chacun des quatre scénarios. Le pourcentage indique le nombre de sujets sur 25 ayant choisi un niveau donné, le pourcentage le plus élevé étant le pourcentage modal. La valeur en caractères gras indique, pour chaque scénario, le niveau de référence de gravité du dommage tel qu'établi à partir des échelles d'équivalence de l'étude précédente (Chinniah et al., 2011). Il est intéressant de noter que le mode correspond au niveau de référence de gravité du dommage dans 22 cas sur 24.

Deux paramètres (outils #33 et #55) visaient le défaut « pauvre définition des niveaux ». Le tableau 10 présente les résultats pour le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #33. Ce paramètre a été sélectionné en raison du peu d'informations relatives à la sélection du niveau de gravité du dommage que proposent ses trois niveaux. Les qualificatifs « modérée », « grave » et « très grave » ont été jugés comme n'offrant pas suffisamment de lignes directrices à l'utilisateur.

Tableau 10. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #33.

Scénario	Niveau du paramètre		
	Blessure ou maladie modérée	Blessure ou maladie grave	Décès, blessure ou maladie très grave
A	100	0	0
G	68	32	0
M	0	13	88
S	0	0	100

Le tableau 11 présente les résultats pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #55. Ce paramètre a été sélectionné en raison du peu d’informations proposées relatives à la sélection du niveau de gravité du dommage. Les qualificatifs « mineure » et « grave » ont été jugés comme n’offrant pas suffisamment de lignes directrices à l’utilisateur.

Tableau 11. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #55.

Scénario	Niveau du paramètre			
	Négligeable: Moins qu'une blessure ou maladie professionnelle mineure	Marginale: blessure ou maladie professionnelle mineure	Critique: blessure ou maladie professionnelle grave	Catastrophique: décès
A	20	80	0	0
G	0	64	36	0
M	0	0	100	0
S	0	0	13	87

Le tableau 12 présente les résultats pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #66. Ce paramètre a été sélectionné pour évaluer le défaut « définition incohérente des différents niveaux », en raison de l’utilisation à deux reprises de l’expression « blessure mineure » (premier et deuxième niveaux de son échelle).

Tableau 12. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #66.

Scénario	Niveau du paramètre			
	Négligeable: blessure mineure possible	Marginale: blessure mineure et/ou menace importante pour l'environnement	Critique: décès unique et/ou blessure grave et/ou dommage important à l'environnement	Catastrophique: Plusieurs décès et/ou blessures graves multiples et/ou dommage majeur à l'environnement
A	60	40	0	0
G	12	56	32	0
M	0	0	92	8
S	0	0	74	26

Le tableau 13 présente les résultats pour le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #69. Ce paramètre a été sélectionné comme un paramètre présumé « sans défaut », c'est-à-dire qu'il ne présentait aucun des défauts spécifiquement analysés dans le cadre de l'étude.

Tableau 13. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #69.

Scénario	Niveau du paramètre			
	Sans dommage	Faible: dommage minimal sans conséquence permanente	Moyenne : dommage grave sans conséquence permanente	Élevée: dommage grave avec conséquences permanentes, décès.
A	4	92	4	0
G	0	28	68	4
M	0	0	4	96
S	0	0	0	100

Le tableau 14 présente les résultats pour le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #91. Ce paramètre, qui ne comporte que deux niveaux de « gravité du dommage », a été sélectionné pour évaluer le défaut « nombre de niveaux inadéquat ».

Tableau 14. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #91.

Scénario	Niveau du paramètre	
	Lésion légère (normalement réversible); p. ex. : écorchure, lacération, bleu, blessure légère qui nécessite des premiers soins, etc.	Lésion grave (normalement irréversible, y compris le décès); p. ex.: membre brisé ou arraché, blessure grave avec points de suture, décès, etc.
A	100	0
G	40	60
M	0	100
S	0	100

Le tableau 15 présente les résultats pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #102. Ce paramètre a été sélectionné pour évaluer le défaut « écart entre les niveaux ». Pour ce paramètre de « gravité du dommage », on note un écart important entre les niveaux supérieurs de son échelle, qui passe des premiers soins à une blessure causant des dommages permanents ou la mort.

Tableau 15. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #102.

Scénario	Niveau du paramètre		
	Mineure: conséquences de peu de gravité	Importante: le travail doit être interrompu et des premiers soins s’imposent	Désastreuse: accident très grave (une personne a été blessée pour la vie, rendue aveugle ou même tuée)
A	56	44	0
G	4	88	8
M	0	0	100
S	0	0	100

3.3.2 Impact des défauts sur la convergence des résultats

Comme mentionné précédemment, la convergence des résultats pour ce paramètre est bonne, avec un pourcentage modal moyen de 83 %. Cela peut indiquer que ce paramètre est relativement robuste et que les différents défauts étudiés ont relativement peu d’impact sur

l'établissement de la gravité du dommage. Quatre cas retiennent cependant l'attention dans le tableau 9, avec un pourcentage modal inférieur ou égal à 60 %.

Les deux premiers cas concernent le défaut « Définitions incohérentes des différents niveaux » présent dans le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #66, appliqué aux scénarios A et G. Il convient de noter que ces deux scénarios présentent les niveaux de gravité de référence les plus faibles. Le tableau 12 présente les résultats obtenus par les sujets dans ces deux cas. Pour ce paramètre, on retrouve l'expression « blessure mineure » dans les deux premiers niveaux. Cette incohérence dans les définitions des niveaux semble avoir conduit à une plus grande dispersion des réponses dans le cas des scénarios où ces niveaux sont des options envisageables, c'est-à-dire les scénarios à plus faible gravité.

Le troisième cas est observé pour le défaut « Nombre de niveaux inadéquat » de l'outil #91 appliqué au scénario G. Le dommage possible « Contusion, fracture simple » du scénario G se retrouve à cheval entre les deux niveaux de ce paramètre (tableau 14). Ainsi, 40% des sujets ont opté pour le premier niveau (contusion) et 60% pour le second niveau (fracture).

Le quatrième cas concerne le défaut « Écart entre les niveaux » présent dans le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #102 et appliqué au scénario A. On constate en effet que 56 % des sujets ont choisi le premier niveau de gravité et 44 % le second niveau (tableau 15). Il est à noter que le niveau de gravité de référence est le second niveau pour le scénario A (Poinçonneuse avec table mobile), avec « Ecchymoses, coupures » comme élément d'information sur le dommage possible. Pour ce paramètre, le premier niveau gravité est défini avec « Mineure : conséquences de peu de gravité » alors que le second niveau est défini avec « Importante : le travail doit être interrompu et des premiers soins s'imposent ». Dans ce cas-là, il semble que ce soit l'absence d'écart entre ces deux niveaux contigus qui pourrait avoir influencé les réponses des sujets; des « Ecchymoses, coupures » pouvant être considérées comme des dommages de peu de gravité, mais pouvant aussi requérir des premiers soins. On note d'ailleurs un écart important entre les deux niveaux supérieurs de son échelle, qui passent des premiers soins à une blessure causant des dommages permanents. La présence de ce défaut semble avoir favorisé une meilleure convergence des résultats pour les scénarios à gravité élevée (scénarios M et S).

3.3.3 Impact des défauts sur le niveau de difficulté d'application du paramètre

En plus du pourcentage modal de chaque cas, le tableau 9 montre aussi le nombre de sujets ayant indiqué qu'il fut assez difficile ou très difficile de faire leur choix de niveau dans chacun des cas, ainsi que le nombre de commentaires négatifs émis par les sujets. On peut remarquer que dans quelques cas, près du tiers des sujets (8 sur 25) ont trouvé assez difficile ou très difficile de faire leur choix.

Il est intéressant de constater deux cas concernant le défaut « définitions incohérentes des différents niveaux » présent dans le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #66 et appliqué aux scénarios A et G. Ces cas ont généré un pourcentage modal relativement bas, comme discuté

en précédemment (voir 3.3.1). Cela suggère que les difficultés éprouvées par les sujets se sont traduites en une plus grande dispersion de leurs réponses. Ce constat semble d'ailleurs appuyé par les commentaires émis par les sujets. Comme le montre le tableau 9, 19 sujets ont formulé des commentaires négatifs à propos de ce défaut pour le scénario A et 17 pour le scénario G. Parmi les commentaires, on retrouve par exemple :

- *Entre négligeable et marginal, l'écart est mince. Ils se chevauchent.*
- *Deux choix de blessure mineure à cause du choix 'et/ou'.*
- *Difficulté à faire la distinction entre négligeable et marginal. La notion de 'possible' ne m'aide pas nécessairement pour la sélection.*

Les sujets ont également noté que le paramètre associe une notion de probabilité à la détermination de la gravité par l'utilisation du mot « possible » dans le premier niveau (voir tableau 12), de même que la présence de la notion de dommage à l'environnement, éléments qui semblent ajouter à l'incohérence de la définition des niveaux de ce paramètre. On constate donc que la présence de ce défaut dans le paramètre de gravité de l'outil #66 a eu une influence sur la convergence des réponses, a rendu difficile le choix du niveau pour plusieurs sujets et que plusieurs des sujets ont attribué leur difficulté à la présence de ce défaut dans le paramètre.

La présence du défaut « pauvre définition des niveaux » présent dans le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #33 a généré plusieurs commentaires négatifs. Par exemple, pour le scénario M, 9 sujets ont indiqué avoir eu de la difficulté à faire le choix de niveau et 13 ont formulé un commentaire pointant ce défaut. Le scénario M (bobineuse) indique « Amputation partielle ou complète des membres supérieurs » comme élément d'information sur le dommage possible. Pour le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #33, le premier niveau de gravité est défini avec « Blessure ou maladie grave » alors que le second niveau l'est avec « Décès, blessure ou maladie très grave » (voir tableau 10). Bien que le pourcentage modal soit relativement bon dans ce cas (88 %) et corresponde au niveau de gravité de référence, on peut supposer que les sujets ont pu avoir une certaine difficulté à distinguer l'amputation comme étant une blessure grave ou une blessure très grave. Cette hypothèse semble d'ailleurs confirmée par les commentaires négatifs émis par les sujets sur ce défaut :

- *Choix arbitraire entre grave ou très grave.*
- *Interpréter grave et très grave. Selon moi, une amputation c'est très grave... Il faut interpréter.*
- *Choix arbitraire pour nuancer entre grave et très grave.*
- *Définir maladie grave et très grave, amputation très grave ?*
- *Différence entre 'grave' et 'très grave' ?*

La présence du défaut « pauvre définition des niveaux » présent dans le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #55 a aussi généré plusieurs commentaires négatifs en lien avec ce défaut. Malgré un pourcentage modal relativement bon pour l'ensemble des quatre scénarios, les sujets ont souvent noté le manque de détails concernant la définition d'une « blessure ou maladie professionnelle mineure » par rapport à une « blessure ou maladie professionnelle grave ». Ici encore, la définition vague et imprécise des niveaux de ce paramètre « gravité du dommage » a été relevée par plusieurs des sujets. Il est important de noter dans l'application de ce paramètre au scénario A, que seulement 20 % des sujets ont choisi le niveau correspondant au niveau de gravité de référence (voir tableau 11).

Le tableau 9 montre également que c'est pour le scénario G que les sujets ont indiqué avoir éprouvé le plus de difficultés à établir leur choix. Ces difficultés se reflètent également dans le pourcentage modal moyen qui, à 65 %, est le plus bas des quatre scénarios. Le scénario G (véhicule autoguidé) indique « Contusion. Fracture simple » comme élément d'information sur le dommage possible. Ce constat, jumelé aux commentaires émis par les sujets, suggère que les défauts présents dans ces paramètres de gravité pourraient avoir un impact plus important dans l'établissement du niveau de gravité pour les dommages intermédiaires comme la fracture simple (scénario G), comparativement aux dommages mineurs (par exemple, l'ecchymose du scénario A) ou graves (par exemple, l'amputation du scénario M et le décès du scénario S).

Le défaut « nombre de niveaux inadéquat » présent pour l'outil #91 semble avoir peu affecté la convergence des résultats ou le niveau de difficulté perçu par les sujets. C'est également pour ce défaut que le nombre total de commentaires négatifs émis par les sujets est le plus faible avec 24 commentaires contre 43 en moyenne pour les autres défauts. Toutefois, la presque totalité de ces commentaires négatifs (23 sur 24) pointe spécifiquement ce défaut, par exemple :

- *C'est bien parce qu'il y a des exemples. Par contre, il manque de catégories.*
- *J'aurais aimé avoir plus de niveaux (j'aime le fait d'avoir des exemples).*
- *Manque des échelons.*
- *Pas bien : fracture simple sur le même niveau que décès. Manquerait des niveaux (trop booléens).*
- *Manque un niveau entre les deux, la fracture n'est pas couverte.*
- *Pas assez de niveaux, choix par défaut.*

C'est donc dire que les sujets ont pu aisément arrêter leur choix de niveau, mais que plusieurs d'entre eux ont perçu ce choix comme inconfortable et contraint, étant donné que le paramètre ne comportait que 2 niveaux.

3.3.4 Constatations relatives à l'impact des défauts associés au paramètre « gravité du dommage »

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l'avant les constatations suivantes concernant l'impact des défauts de construction sur le paramètre « gravité du dommage » :

1. Le paramètre « gravité du dommage » semble relativement robuste et la convergence des résultats est moins affectée par la présence de défauts, dans la majorité des cas, que les autres paramètres d'estimation du risque.
2. Le nombre de commentaires négatifs exprimés par les sujets et en lien avec les différents défauts représente 74 % de tous les commentaires négatifs exprimés (173 sur 234). Cela semble indiquer que malgré une bonne convergence des résultats, les sujets ont généralement été en mesure de repérer les défauts et de reconnaître leur influence négative sur la sélection du niveau de gravité du dommage.
3. Les défauts n'ont pas un impact uniforme sur l'application des paramètres « gravité du dommage ». La nature du défaut, sa position dans l'échelle de gravité du paramètre et le dommage possible semblent influencer son impact sur l'établissement du niveau de gravité du dommage. Par exemple, certains défauts pourraient n'avoir aucun impact au regard des dommages les plus faibles et les plus élevés, mais influencer davantage l'établissement des niveaux de gravité pour les dommages intermédiaires, et vice-versa.
4. Les défauts « pauvre définition des niveaux » et « définitions incohérentes des différents niveaux » semblent avoir eu le plus d'impact sur l'établissement du niveau de gravité du dommage pour les sujets. Ces défauts ont généré 174 des 298 commentaires négatifs émis par les sujets, et 130 de ces commentaires concernaient spécifiquement ces défauts.
5. Le défaut « écart entre les niveaux » a des effets variables selon le cas. D'une part, un trop grand écart entre les niveaux d'un paramètre n'a que peu d'impact sur la convergence des résultats et sur le niveau de difficulté à répondre, comme le suggèrent les résultats de l'application de l'outil #102. Par contre, ce défaut est relevé par les sujets qui ont formulé un total de 20 commentaires le visant directement. À la lecture des commentaires, il semble que cet écart oriente le choix des sujets vers un niveau spécifique dans chaque cas. Toutefois, les sujets mentionnent majoritairement qu'il manque un niveau dans l'échelle de ce paramètre, ce qui se traduit par un certain inconfort dans le processus de sélection. D'autre part, l'absence d'écart entre deux niveaux peut avoir un effet considérable sur la convergence des résultats. D'ailleurs, toujours pour l'outil #102, neuf sujets ont émis un commentaire (négatif ou positif) appuyant cette interprétation dans son application au scénario A, pour lequel un pourcentage modal de seulement 56 % a été obtenu.
6. L'utilisation de seulement deux niveaux pour établir la gravité du dommage peut rendre le choix plus facile pour les utilisateurs. Par contre, cette situation semble générer un certain inconfort pour ces derniers. Ce défaut a donc un effet similaire à un trop grand écart entre les niveaux.

3.4 Analyse des défauts associés au paramètre « probabilité d’occurrence du dommage (Ph) »

Le tableau 16 présente les éléments d’analyse du paramètre « probabilité d’occurrence du dommage ».

Tableau 16. Analyse du paramètre « probabilité d’occurrence du dommage ».

Probabilité d’occurrence du dommage (Ph)	Outil	N ^b re de niveaux	Scénario A				Scénario G				Scénario M				Scénario S			
			Pourcentage modal	N ^b re de sujets ayant eu une difficulté à répondre *	N ^b re de commentaires négatifs en lien avec le défaut	N ^b re de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	N ^b re de sujets ayant eu une difficulté à répondre	N ^b re de commentaires négatifs en lien avec le défaut	N ^b re de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	N ^b re de sujets ayant eu une difficulté à répondre	N ^b re de commentaires négatifs en lien avec le défaut	N ^b re de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	N ^b re de sujets ayant eu une difficulté à répondre	N ^b re de commentaires négatifs en lien avec le défaut	N ^b re de commentaires négatifs total
Définitions incohérentes des différents niveaux	#6	5	44	4	12	14	44	2	7	11	63	5	10	13	54	9	8	12
Pauvre définition des niveaux	#7	5	36	6	16	17	40	4	11	17	63	10	13	20	50	9	12	16
Écart entre les niveaux	#34	3	44	7	5	14	52	5	5	12	63	8	9	19	50	6	5	12
Sans défaut	#41	6	68	6	0	18	40	5	0	12	38	7	0	14	38	9	0	12
Absence d'intervalle d'exposition	#89	4	48	3	1	10	60	4	1	11	46	5	0	12	33	5	0	9

* Nombre de sujets ayant répondu que leur choix fut « Assez difficile » ou « Très difficile » (sous-section 2.3.1)

3.4.1 Description des paramètres et des défauts étudiés

Cinq paramètres « probabilité d’occurrence du dommage » ont été utilisés pour évaluer l’impact des différents défauts. Les tableaux ci-dessous montrent les résultats des choix faits par les sujets pour chacun de ces paramètres et pour chacun des quatre scénarios. Les tableaux illustrent entre autres que le mode ne correspond au niveau de référence de probabilité d’occurrence du dommage que dans 11 cas sur 20.

Le tableau 17 présente les résultats pour le paramètre « probabilité d’occurrence du dommage » de l’outil #6. Ce paramètre a été sélectionné pour évaluer le défaut « définitions incohérentes des différents niveaux », en raison des définitions croisées de ses trois premiers niveaux, avec l’utilisation des mots « improbable », « négligeable », « peu probable », « concevable » et « pourrait survenir ». En effet, ces expressions ont été jugées trop similaires sur le plan sémantique.

Tableau 17. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d’occurrence du dommage » de l’outil #6.

Scénario	Niveau du paramètre				
	Improbable – Probabilité pratiquement nulle	Négligeable – Peu probable, mais concevable	Possible – Pourrait survenir	Probable – Prévisible, surviendra plusieurs fois	(Très) probable/Fréquent – Surviendra de façon répétée/ Évènement quasi inévitable
A	0	4	44	32	20
G	0	20	44	36	0
M	0	8	63	25	4
S	4	33	54	8	0

Le tableau 18 présente les résultats pour le paramètre « gravité du dommage » de l’outil #7, qui visait le défaut « pauvre définition des niveaux ». Ce paramètre a été sélectionné en raison du peu d’informations relatives à la sélection du niveau de probabilité d’occurrence du dommage que proposent ses cinq niveaux, qui n’utilisent que des qualificatifs n’offrant pas suffisamment de ligne directrice à l’utilisateur.

Tableau 18. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d’occurrence du dommage » de l’outil #7.

Scénario	Niveau du paramètre				
	Négligeable	Improbable	Possible	Probable	(Très) Probable
A	0	4	32	36	28
G	4	20	28	40	8
M	0	4	63	33	0
S	8	17	50	13	13

Le tableau 19 fournit les résultats pour le paramètre « probabilité d’occurrence du dommage » de l’outil #34. Ce paramètre a été sélectionné pour évaluer le défaut « écart entre les niveaux ». Pour ce paramètre « probabilité d’occurrence du dommage », on note que les deux niveaux extrêmes sont trop éloignés du niveau intermédiaire. Ainsi, il est difficile de classer une situation présentant une probabilité d’occurrence du dommage qui serait considérée « basse » sans être très rare, ou « haute » sans être quasi certaine.

Tableau 19. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #34.

Scénario	Niveau du paramètre		
	Faible - Ne survient jamais ou que très rarement	Moyenne – Probabilité raisonnable d'occurrence	Élevée – Occurrence certaine ou quasi certaine
A	12	44	44
G	20	52	28
M	25	63	13
S	50	42	8

Le tableau 20 présente les résultats pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #41. Ce paramètre a été sélectionné comme un paramètre présumé « sans défaut », c'est-à-dire qu'il ne présentait aucun des défauts spécifiquement analysés dans le cadre de l'étude.

Tableau 20. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #41.

Scénario	Niveau du paramètre					
	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- Occasionnelle – 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
A	0	0	12	12	68	8
G	0	4	20	32	40	4
M	0	0	33	38	29	0
S	4	17	38	25	17	0

Le tableau 21 donne les résultats pour le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #89. Ce paramètre a été sélectionné pour évaluer l'effet du défaut « absence d'intervalle d'exposition ». Pour ce paramètre, aucune indication n'est fournie quant à la période de temps (l'intervalle d'exposition) sur laquelle la probabilité doit être évaluée. Il convient cependant de préciser que mis à part le paramètre de l'outil #41 ci-haut (présumé « sans défaut »), aucun des autres paramètres « probabilité d'occurrence du dommage » présentés ici ne comportait d'indications sur l'intervalle d'exposition. Le paramètre de l'outil #89 ne comporte cependant aucun des autres défauts étudiés ici.

Tableau 21. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d’occurrence du dommage » de l’outil #89.

Scénario	Niveau du paramètre			
	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
A	0	20	48	32
G	0	32	60	8
M	0	46	42	13
S	8	33	25	33

3.4.2 Impact des défauts sur la convergence des résultats

Comme mentionné précédemment, la convergence des résultats pour ce paramètre est faible, avec un pourcentage modal moyen de 50 %. Même le paramètre de l’outil #41, présumé être « sans défaut », n’a pas permis d’obtenir une meilleure convergence des résultats. Ces résultats sont d’ailleurs semblables pour les quatre scénarios à l’étude. Ces constats, combinés avec le fait que le mode ne correspond au niveau de référence de probabilité d’occurrence du dommage que dans 11 cas sur 20, indiquent que ce paramètre a posé une grande difficulté aux sujets de l’étude. Il est donc difficile d’établir l’impact des défauts présents sur ces paramètres « probabilité d’occurrence du dommage » à partir du pourcentage modal.

3.4.3 Impact des défauts sur le niveau de difficulté d’application du paramètre

Concernant la difficulté d’application du paramètre, on remarque, dans le tableau 16, cinq cas où près du tiers des sujets (8 sur 25) ont trouvé assez difficile ou très difficile de faire leur choix. Ces cinq cas ont été observés pour les scénarios M et S. Deux des cas concernent le défaut « pauvre définition des niveaux » présent dans le paramètre « probabilité d’occurrence du dommage » de l’outil 7. Comme le montre le tableau 18, ce paramètre n’utilise que des qualificatifs, sans autres indications, pour définir les niveaux de son échelle. D’ailleurs, 13 sujets ont formulé des commentaires négatifs mettant directement en cause ce défaut pour le scénario M et 12 pour le scénario S. Parmi les commentaires, on retrouve par exemple :

- *Mieux définir les descriptions des niveaux.*
- *C'est vague, il faut interpréter. Hésitation entre possible et probable... c'est la même chose.*
- *Le paramètre probabilité n'est pas clair en soi (probabilité de dommage versus probabilité (risque) Niveau : On se base sur des mots... pas d'explications, pas d'éclaircissement, pas d'échelle.*

- *Le descriptif est insuffisant afin de permettre la sélection du niveau (possible vs probable) pour une erreur de communication.*
- *Aucune définition, donc il faut interpréter.*

Deux autres cas se présentent pour le scénario S, dont le niveau de risque est le plus élevé des quatre. Le premier cas concerne le paramètre de l'outil #41, considéré « sans défaut ». Une analyse de l'ensemble des commentaires émis par les sujets concernant ce paramètre amène un éclairage nouveau sur sa construction. On note en effet que celui-ci utilise la notion de « cycle de vie » pour définir l'intervalle d'exposition permettant d'établir la probabilité d'occurrence du dommage. Or, il s'avère que plusieurs des commentaires négatifs visent spécifiquement cette notion de « cycle de vie ». Plusieurs des sujets indiquent que cet aspect de la définition des niveaux a rendu leur choix plus difficile, par exemple :

- *Je n'aime pas 'cycle' de vie, car ça ne signifie rien pour moi.*
- *La notion de cycle vient embrouiller.*
- *La notion du cycle de vie devient terriblement difficile à juger dans un scénario comme celui-là.*
- *Plus précis, mais définir cycle de vie et formation du travailleur.*
- *Quel cycle de vie (machine ou durée de l'exposition)?*
- *Je ne suis pas sûr à propos du cycle de vie de l'équipement.*

Ainsi, on peut penser que ce paramètre, bien que présumé « sans défaut », comportait aussi un aspect nuisible dans sa construction.

Le second cas concerne le défaut « définitions incohérentes des différents niveaux » présent dans le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #6. Comme le montre le tableau 17, 54 % des sujets ont choisi le niveau « Possible – Pourrait survenir », qui est le niveau de référence de probabilité d'occurrence du dommage et 33 % ont choisi le niveau inférieur « Négligeable – Peu probable, mais concevable ». En analysant les 12 commentaires formulés par les sujets, on constate aisément que plusieurs parmi ceux-ci ont pu être influencés par la présence du défaut :

- *Hésitation entre négligeable et possible. Les définitions sont très semblables.*
- *Description des niveaux détaillée, mais floue, mots similaires et qui ne veulent rien dire... je me suis donc basé sur mes perceptions. La description du paramètre laisse place à un jugement (choisir entre 2 termes avec une signification légèrement différente).*
- *Les descriptifs ne permettent pas de choisir clairement entre 'négligeable' et 'possible'. Dans le doute, je prends le plus risqué.*

- *Entre négligeable et possible les définitions se ressemblent.*

Un dernier cas concerne le défaut « écart entre les niveaux » présent dans le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » de l'outil #34 appliqué au scénario M. Pour ce paramètre, huit sujets ont indiqué avoir eu une certaine difficulté à faire leur choix et neuf sujets ont émis un commentaire négatif sur ce défaut. Malgré un pourcentage modal relativement acceptable (63 %), plusieurs commentaires des sujets montrent leur incertitude face à la présence de ce défaut, comme le montrent les exemples ci-dessous :

- *Il manque de niveaux. Hésitation entre faible et moyenne. L'écart entre jamais et raisonnable est élevé. Que veut dire 'raisonnable'? Résultat teinté par mon expérience.*
- *Manqué de catégorie. Les termes ne sont pas clairs, manque d'explication.*
- *Pas assez de niveaux. Pas assez de dégradation de niveau. Choix par défaut au plus proche.*
- *Selon moi, il manque au moins un niveau entre faible et moyenne. Cette probabilité n'est pas nulle, mais pas moyenne non plus.*

Il convient cependant de noter que plusieurs de ces commentaires font référence au fait qu'il existe un écart parfois important entre les niveaux, mais que cet écart est le fait du manque de niveaux dans l'échelle de ce paramètre, qui n'en comporte que trois.

3.4.4 Constatations relatives à l'impact des défauts associés au paramètre « probabilité d'occurrence du dommage »

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l'avant les constatations suivantes concernant l'impact des défauts de construction sur le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage » :

1. La probabilité d'occurrence du dommage semble difficile à établir par les sujets. La faible convergence des résultats de même que le faible taux de correspondance avec les niveaux de référence suggèrent que ce paramètre pose problème dans la majorité des cas.
2. Bien qu'il soit difficile d'établir l'impact spécifique de la présence des différents défauts dans ce paramètre, les sujets ont été en mesure de sélectionner spécifiquement ces défauts à de nombreuses occasions.
3. Les défauts « définitions incohérentes des différents niveaux » et « pauvre définition des niveaux » ont été identifiés le plus souvent par les sujets (en fonction du nombre de commentaires négatifs associés). Ces défauts ont généré 93 commentaires négatifs les visant spécifiquement. Cela suggère que, malgré le fait que les sujets n'ont pas toujours indiqué que ces défauts ont pu rendre plus difficile le processus de sélection, ils ont été en mesure de reconnaître la présence et l'impact potentiel de ces défauts sur le paramètre « probabilité d'occurrence du dommage ».

4. Les défauts « écart entre les niveaux » et « absence d’intervalle d’exposition » ont été moins souvent reconnus par les sujets dans les paramètres étudiés. Cela est particulièrement vrai pour le défaut « absence d’intervalle d’exposition » qui n’a été relevé que dans deux circonstances.
5. La notion de « cycle de vie », utilisée pour établir l’intervalle d’exposition dans le paramètre de l’outil #41, ne semble pas convenir à plusieurs des sujets. On peut donc penser que (i) cette notion manque de précision pour être utile, ou que (ii) les sujets préfèrent définir eux-mêmes et de manière qualitative l’intervalle d’exposition dans l’estimation de la probabilité d’occurrence du dommage. Cette seconde hypothèse semble appuyée par le fait que l’« absence d’intervalle d’exposition » n’a pas été choisie comme un défaut par la plupart des sujets.
6. Le défaut « écart entre les niveaux » semble être perçu de la même manière que celui « nombre de niveaux inadéquat » lorsque le nombre de niveaux de l’échelle de probabilité d’occurrence du dommage est faible. Aussi, en présence de ce défaut, les sujets mentionnent majoritairement qu’il manque un niveau dans l’échelle du paramètre, ce qui se traduit par un certain inconfort dans le processus de sélection.

3.5 Analyse des défauts associés au paramètre « fréquence d’exposition (Exf) »

Le tableau 22 présente les éléments d’analyse du paramètre « fréquence d’exposition ».

Tableau 22. Analyse du paramètre « fréquence d’exposition ».

Fréquence d'exposition (Exf)	Outil	Nbre de niveaux	Scénario A				Scénario G				Scénario M				Scénario S			
			Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre *	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total
Écart entre les niveaux	#49	2	84	4	6	10	88	1	7	10	100	1	8	9	74	11	19	20
Sans défaut	#67	4	64	7	0	12	64	9	0	11	100	3	0	6	87	11	0	12

* Nombre de sujets ayant répondu que leur choix fut « Assez difficile » ou « Très difficile » (sous-section 2.3.1)

3.5.1 Description des paramètres et des défauts étudiés

Un seul défaut a été examiné pour le paramètre « fréquence d’exposition » : l’écart entre les niveaux. Les tableaux ci-dessous montrent les résultats des choix faits par les sujets pour les deux paramètres qui ont été utilisés et pour chacun des quatre scénarios. Le tableau 23 présente les résultats pour le paramètre « fréquence d’exposition » de l’outil #49. Ce paramètre a été sélectionné pour évaluer le défaut « écart entre les niveaux ». Pour ce paramètre, on note un écart important qui fait en sorte qu’une exposition dont la fréquence est supérieure à une fois par jour, mais inférieure à une fois par heure, se retrouve entre les deux niveaux de son échelle.

Tableau 23. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « fréquence d’exposition » de l’outil #49.

Scénario	Niveau du paramètre	
	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)
A	16	84
G	12	88
M	100	0
S	26	74

Le tableau 24 présente les résultats pour le paramètre « fréquence d’exposition » de l’outil #67, sélectionné comme un paramètre présumé « sans défaut », c’est-à-dire qu’il ne présentait aucun des défauts spécifiquement analysés dans le cadre de l’étude.

Tableau 24. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « fréquence d’exposition » de l’outil #67.

Scénario	Niveau du paramètre				
	1 L'intervalle entre les expositions est supérieur à un an	2 L'intervalle entre les expositions est supérieur à deux semaines et inférieur ou égal à un an	3 L'intervalle entre les expositions est supérieur à un jour et inférieur ou égal à deux semaines	4 L'intervalle entre les expositions est supérieur à une heure et inférieur ou égal à un jour. Lorsque la durée est inférieure à 10 min, les valeurs ci-dessus peuvent être réduites au niveau suivant	5 L'intervalle entre les expositions est inférieur ou égal à une heure. Cette valeur ne doit être réduite à aucun moment
A	0	0	8	28	64
G	0	0	8	28	64
M	0	0	100	0	0
S	0	0	9	87	4

3.5.2 Impact des défauts sur la convergence des résultats

La convergence des résultats pour le paramètre « fréquence d’exposition » de l’outil #49 est bonne, avec un pourcentage modal moyen de 86 %. Le tableau 23 montre également que la correspondance entre les réponses des sujets et les niveaux de fréquence d’exposition de référence est aussi très bonne. Il convient cependant d’apprécier ces résultats avec réserve, puisque, comme le paramètre ne comportait que deux niveaux, le pourcentage modal ne pouvait être inférieur à 50 %. Néanmoins, il apparaît qu’en majorité, le choix des sujets a convergé vers le niveau de référence malgré la présence du défaut « écart entre les niveaux ». Seul le scénario S semble avoir généré davantage d’hésitation, avec un pourcentage modal de 74 %.

Pour le paramètre « fréquence d’exposition » de l’outil #67 (présumé « sans défaut »), on note une moins bonne convergence pour les scénarios A et G.

3.5.3 Impact des défauts sur le niveau de difficulté d’application du paramètre

Comme le montre le tableau 22, 11 sujets ont indiqué avoir eu une certaine difficulté à sélectionner le niveau de fréquence d’exposition pour le scénario S avec le paramètre de l’outil #49. De plus, 19 des 20 commentaires négatifs concernant ce paramètre visent clairement et directement le défaut en question (écart entre les niveaux), par exemple :

- *Choix contradictoires? Il y a un trou entre moins d'une fois par jour et plus d'une fois par heure?*

- *Manque un intervalle, deux fois par quart n'est pas considéré; il se trouve entre les deux paramètres.*
- *Il n'y a pas assez de niveaux pour cerner mon choix (va entre les deux).*
- *Moins d'une fois par jour, c'est quoi? Niveau intermédiaire manquant.*
- *Ça ne marche pas. Il y a un trou entre E1 et E2.*
- *Il y a un espace non couvert entre les deux niveaux.*

Il est intéressant de noter que pour les trois autres scénarios, peu de sujets ont indiqué avoir eu une certaine difficulté à faire leur choix et que peu de commentaires négatifs à propos de ce défaut ont été formulés. Le tableau 25 permet de mieux comprendre cette situation. En effet, pour les scénarios A, G et M, la présence du défaut « écart entre les niveaux » n'a pas d'impact puisque l'information relative à l'exposition fournie aux sujets concorde relativement bien avec les définitions des niveaux du paramètre de l'outil #49. Pour le scénario S, cependant, l'information fournie concerne spécifiquement l'écart présent entre les deux niveaux : la fréquence d'exposition est supérieure à une fois par jour, mais inférieure à une fois par heure. Cela exige des sujets qu'ils sélectionnent un niveau de manière plus ou moins arbitraire, d'où la difficulté.

Tableau 25. Analyse de l'impact du défaut « écart entre les niveaux » du paramètre « fréquence d'exposition » de l'outil #49.

Scénario	Information relative à l'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)
A	Un visiteur demeure dans le stand en moyenne 5 minutes . La table mobile de la poinçonneuse se déplace 50 % du temps. Un visiteur est présent dans le stand en moyenne 20 % du temps sur une journée d'exposition qui dure 10 heures.		20 % du temps sur 10 heures pendant 5 minutes est équivalent à 2,4 expositions par heure
G	En moyenne, la voie de circulation du véhicule autoguidé est traversée 25 fois par les travailleurs pendant chaque quart de travail de 8 heures . Il faut 3 secondes à un travailleur pour franchir complètement la voie de circulation du véhicule. Le véhicule autoguidé fonctionne en continu pendant les heures de travail.		25 fois par quart de travail de 8 heures est équivalent à 3,1 expositions par heure
M	À chaque installation de nouveau rouleau c'est-à-dire 1 fois par deux jours . Chaque opération dure environ 15 minutes.	Une fois par deux jours est inférieure à une fois par jour	
S	Intervention de 10 minutes, 2 fois par quart de 8 heures de travail.		Fréquence d'exposition supérieure à une fois par jour, mais inférieure à une fois par heure

En ce qui a trait au paramètre « fréquence d'exposition » de l'outil #67 (présumé « sans défaut »), on remarque un nombre relativement élevé de sujets ayant éprouvé une certaine difficulté à l'égard des scénarios A, G et S. À la lecture des commentaires émis par les sujets, il semble que la complexité de la définition du 4^e niveau de ce paramètre a rendu son utilisation difficile par les sujets, par exemple :

- *Phrases longues et difficiles de compréhension.*
- *Nécessite un calcul avant de répondre.*
- *Il y a assez de niveaux. L'utilisation de l'intervalle est intéressante, mais plus complexe. Le niveau 4 est plus difficile à comprendre, mais j'imagine qu'à l'usage on s'y fait.*
- *Du gros n'importe quoi. Flou. Compliqué de répondre.*
- *Définitions compliquées (compréhension et application au scénario).*
- *Difficultés d'interprétation de la deuxième partie du descriptif du niveau 4.*

Il est à noter que le niveau de référence de la fréquence d'exposition pour les scénarios en cause (A, G et S) est le niveau 4 de ce paramètre, alors que pour le scénario M, le niveau de référence est le niveau 3. Le 4^e niveau de ce paramètre est défini de la façon suivante (tableau 24) : *L'intervalle entre les expositions est supérieur à une heure et inférieur ou égal à un jour. Lorsque la durée est inférieure à 10 min, les valeurs ci-dessus peuvent être réduites au niveau suivant.* Les sujets ont donc clairement indiqué que ce type de descriptif nécessitant un calcul d'ajustement est trop complexe d'utilisation. Cela semble aussi avoir eu un impact sur la correspondance des réponses des sujets avec le niveau de fréquence d'exposition de référence, qui n'était que de 28 % pour les scénarios A et G.

3.5.4 Constatations relatives à l'impact des défauts associés au paramètre « fréquence d'exposition »

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l'avant les constatations suivantes concernant le paramètre « fréquence d'exposition » :

1. La présence du défaut « écart entre les niveaux » n'a pas un impact uniforme sur l'application des paramètres de fréquence d'exposition. La position du défaut dans l'échelle du paramètre, combinée à l'information relative à l'exposition, semble influencer l'impact du défaut sur l'établissement du niveau de fréquence d'exposition. Comme l'ont montré les résultats pour le scénario S, lorsqu'un scénario nécessite une situation qui rejoint cet écart, la convergence et le niveau de difficulté montre l'impact du défaut. Le défaut était alors sélectionné dans les commentaires de la majorité des sujets.
2. Dans la détermination de la fréquence d'exposition, une trop grande complexité dans la définition d'un niveau d'un paramètre a un impact important sur la convergence des

résultats ainsi que sur le niveau de difficulté du processus de sélection. En effet, comme l’ont montré les résultats avec le paramètre « fréquence d’exposition » de l’outil #67, lorsqu’un calcul est requis pour choisir un certain niveau, plusieurs sujets ont clairement identifié ce facteur comme un élément nuisible au processus de sélection. On peut donc penser que cette caractéristique est un défaut supplémentaire qui peut affecter le paramètre « fréquence d’exposition » et potentiellement d’autres paramètres d’estimation du risque.

3.6 Analyse des défauts associés au paramètre « durée d’exposition (Exd) »

Le tableau 26 présente les éléments d’analyse du paramètre « durée d’exposition ».

Tableau 26. Analyse du paramètre « durée d’exposition ».

Durée d’exposition (Exd)	Outil	Nbre de niveaux	Scénario A				Scénario G				Scénario M				Scénario S			
			Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre *	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total
Pauvre définition des niveaux	#19	2	64	8	11	14	64	10	10	17	79	8	11	15	61	7	11	17
Écart entre les niveaux	#62	5	32	13	3	20	80	11	1	20	96	10	5	17	78	7	3	15
Sans défaut	#91	2	56	5	0	13	72	2	0	12	88	5	0	15	83	5	0	14

* Nombre de sujets ayant répondu que leur choix fut « Assez difficile » ou « Très difficile » (sous-section 2.3.1)

3.6.1 Description des paramètres et des défauts étudiés

Trois paramètres de durée d’exposition ont été utilisés pour évaluer l’impact de deux défauts sur ce paramètre. Les tableaux ci-dessous montrent les résultats des choix faits par les sujets pour chacun de ces paramètres et pour chacun des quatre scénarios. Les tableaux montrent, entre autres, que le mode ne correspond au niveau de référence de durée d’exposition que dans 11 cas sur 20.

Le tableau 27 présente les résultats pour la durée d’exposition de l’outil #19, qui visait le défaut « pauvre définition des niveaux ». Ce paramètre a été sélectionné en raison du peu d’informations relatives à la sélection du niveau d’exposition que proposent ses deux niveaux, qui n’utilisent que des qualificatifs n’offrant pas suffisamment de ligne directrice à l’utilisateur.

Tableau 27. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #19

Scénario	Niveau du paramètre	
	1. Rare à assez fréquente	2. Fréquente à continue
A	36	64
G	36	64
M	79	21
S	61	39

Le tableau 28 présente les résultats pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #62. Ce paramètre a été sélectionné pour évaluer le défaut « écart entre les niveaux ». Pour ce paramètre, on note un écart entre chacun des niveaux. Par exemple, une exposition de deux jours par mois se retrouverait entre les deux premiers niveaux de son échelle et une exposition de 12 heures par semaine se situerait entre les niveaux 3 et 4 de son échelle.

Tableau 28. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #62.

Scénario	Niveau du paramètre				
	1. 2 h/semaine; 1 jour/mois	2. 4 h/semaine; ½ jour/semaine	3. 8 h/semaine; 1 jour/semaine	4. 20 h/semaine; Mi-temps	5. 40 h/semaine; Temps complet
A	32	20	32	8	8
G	80	0	0	4	16
M	96	0	0	4	0
S	78	4	9	9	0

Enfin, le tableau 29 présente les résultats pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #91, sélectionné comme un paramètre présumé « sans défaut », c'est-à-dire qu'il ne présentait aucun des défauts spécifiquement analysés dans le cadre de l'étude.

Tableau 29. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « durée d’exposition » de l’outil #91.

Scénario	Niveau du paramètre	
	F1 Rare à assez fréquente et/ou courte durée d'exposition	F2 Fréquente à continue et/ou longue durée d'exposition
A	56	44
G	72	28
M	88	13
S	83	17

3.6.2 Impact des défauts sur la convergence des résultats

La convergence des résultats pour ces paramètres « durée d’exposition » est assez variable, avec un pourcentage modal allant de 32 à 96 %. Le paramètre de l’outil #19, avec le défaut « pauvre définition des niveaux », présente le pourcentage modal moyen le plus faible, bien qu’il soit légèrement supérieur à 60 %. Comme le montre le tableau 27, une majorité de sujets n’a pas choisi le niveau de durée d’exposition de référence pour les scénarios A et G avec ce paramètre. Pour le scénario M, la convergence des résultats est meilleure. Comme le montre le tableau 25, l’information relative à l’exposition fournie pour ce scénario indique assez clairement que la durée d’exposition est relativement courte (15 minutes à tous les deux jours). Par contre, pour les trois autres scénarios, l’information relative à l’exposition est moins catégorique, et le manque de précision dans les descriptions des deux niveaux du paramètre de l’outil #19 (« Rare à assez fréquente » et « Fréquente à continue »; tableau 27) peut avoir rendu le choix plus arbitraire.

En ce qui concerne le défaut « écart entre les niveaux » que présentait le paramètre « durée d’exposition » de l’outil #62, on constate que le pourcentage modal est bon, sauf pour le scénario A qui n’obtient que 32 % (tableau 28). Ce paramètre comporte 5 niveaux et on note un certain écart entre chacun de ses niveaux. Toutefois, la dispersion très large des réponses des sujets, de même que le faible pourcentage modal pour ce scénario pour l’ensemble des paramètres étudiés, semble indiquer que c’est l’interprétation des informations relatives à la durée de l’exposition fournie pour le scénario A, et non ces écarts, qui ont influencé les choix. Pour le paramètre « durée d’exposition » de l’outil #91 (présumé « sans défaut »), on note aussi une moins bonne convergence pour le scénario A.

3.6.3 Impact des défauts sur le niveau de difficulté d'application du paramètre

Pour les deux paramètres comportant un défaut (#19 et #62), au moins 8 sujets ont indiqué avoir eu une certaine difficulté à sélectionner le niveau de durée d'exposition pour les scénarios A, G et M. Pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #19, la présence du défaut « pauvre définition des niveaux » a été relevé 43 fois dans les 63 commentaires négatifs exprimés par les sujets. En voici quelques exemples :

- *Descriptions manquent de détails.*
- *Pas assez de catégories. Mal définies.*
- *Facile pour ce cas, mais pas d'explications claires.*
- *Mieux définir.*
- *On devrait décrire, rare, fréquente et continue.*
- *La fréquence est difficile à déterminer sans détail (limite entre les deux?) Les deux niveaux se superposent.*

Pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #62, malgré la présence du défaut « écart entre les niveaux », on constate que très peu de sujets ont mis en cause ce défaut dans leurs appréciations, même si de nombreux commentaires négatifs ont été émis. Comme le montre le tableau 28, les réponses des sujets ont relativement bien convergé vers le niveau de référence, sauf pour le scénario A. Cependant, lorsque l'on consulte les commentaires formulés, on constate que plusieurs sujets ont trouvé difficile de transformer mathématiquement les informations relatives à la fréquence et à la durée d'exposition (fournis pour chacun des scénarios) en données permettant d'établir la durée d'exposition. Par exemple :

- *Difficile à calculer une fréquence et une durée en même temps.*
- *On devrait distinguer la durée de la fréquence.*
- *Mélanger temps d'exposition et fréquence rend le choix difficile.*
- *Par calcul. Résultat surprenant; c'est le niveau d'exposition le plus bas, pourtant, que les travailleurs traversent la voie 25 fois par jour me semble assez élevé.*
- *On devrait isoler et qualifier la durée et la fréquence pour mieux les évaluer. On doit faire un choix 'éditorial' entre les deux.*
- *L'échelle n'est pas adaptée à toutes les situations. Ex. on parle d'heure et dans la situation, on parle de secondes et de nombre de fois. La définition du paramètre est inversée par rapport au niveau sur la durée et sur la fréquence... pas clair.*

À propos de ce qui précède, il est intéressant de noter que le paramètre « durée d'exposition » est celui qui a généré le plus de commentaires négatifs de la part des sujets, avec une moyenne de 17 commentaires négatifs par application, contre 14 pour l'ensemble des autres paramètres. Par comparaison, le paramètre « fréquence d'exposition » n'a généré que 12 commentaires négatifs par application. De plus, en présence de défauts, le pourcentage modal moyen du paramètre « durée d'exposition » était de 69,3 %, alors qu'il était de 86,5 % pour le paramètre « fréquence d'exposition ». Cela suggère que la notion de durée d'exposition pourrait être plus difficile à assimiler et moins robuste que la notion de fréquence d'exposition dans l'estimation du risque.

3.6.4 Constatations relatives à l'impact des défauts associés au paramètre « durée d'exposition »

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l'avant les constatations suivantes concernant le paramètre « durée d'exposition » :

1. Comme pour les autres paramètres, le défaut « pauvre définition des niveaux » a un impact notable sur ce paramètre, avec un pourcentage modal moyen de 67 % et 43 commentaires négatifs le mettant directement en cause.
2. L'impact de la présence du défaut « écart entre les niveaux » n'a pas pu être confirmé pour ce paramètre.
3. Comme pour le paramètre « fréquence d'exposition », une trop grande complexité dans la définition d'un niveau d'un paramètre a un impact important sur le niveau de difficulté du processus de sélection. Comme l'ont montré les résultats avec le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #62, lorsqu'un calcul est requis pour choisir un certain niveau, notamment pour la conversion de données de fréquence en durée d'exposition, plusieurs sujets ont sélectionné ce facteur comme étant un élément nuisible au processus de sélection.
4. Le niveau de difficulté perçu, le nombre de commentaires négatifs émis par les sujets et le pourcentage modal moyen des paramètres « durée d'exposition » peuvent être une indication à l'effet que ce type de paramètres est potentiellement moins robuste et plus difficile à utiliser que le paramètre « fréquence d'exposition » dans l'estimation du risque. Le petit nombre d'essais pour ce paramètre suggère qu'il soit interprété avec prudence.

3.7 Analyse des défauts associés au paramètre « possibilité d’évitement (A) »

Le tableau 30 présente les éléments d’analyse du paramètre « possibilité d’évitement ».

Tableau 30. Analyse du paramètre « possibilité d’évitement ».

Possibilité d’évitement (A)	Outil	Nbre de niveaux	Scénario A				Scénario G				Scénario M				Scénario S			
			Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre *	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total
Pauvre définition des niveaux	#57	5	48	9	13	19	44	5	12	18	58	13	12	14	63	6	10	14
Sans défaut	#114	4	64	4	0	11	52	3	0	8	67	10	0	11	58	4	0	5

* Nombre de sujets ayant répondu que leur choix fut « Assez difficile » ou « Très difficile » (sous-section 2.3.1)

3.7.1 Description des paramètres et des défauts étudiés

Seul le défaut « pauvre définition des niveaux » a pu être évalué pour le paramètre « possibilité d’évitement ». Le tableau 31 présente les résultats pour le paramètre « possibilité d’évitement » de l’outil #57, qui visait ce défaut. Ce paramètre a été sélectionné en raison du peu d’informations relatives à la sélection du niveau de possibilité d’évitement que proposent ses cinq niveaux, qui n’utilisent que des qualificatifs n’offrant pas suffisamment de ligne directrice à l’utilisateur.

Tableau 31. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « possibilité d’évitement » de l’outil #57.

Scénario	Niveau du paramètre				
	1. Évident	2. Probable	3. Possible	4. Rare	5. Impossible
A	0	12	36	48	4
G	20	44	32	4	0
M	0	13	58	29	0
S	0	0	4	63	33

Le tableau 32 présente les résultats pour le paramètre « possibilité d'évitement » de l'outil #114, sélectionné comme un paramètre présumé « sans défaut », c'est-à-dire qu'il ne présentait aucun des défauts spécifiquement analysés dans le cadre de l'étude.

Tableau 32. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « possibilité d'évitement » de l'outil #114.

Scénario	Niveau du paramètre			
	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
A	12	16	64	8
G	32	52	16	0
M	13	8	67	13
S	0	4	58	38

3.7.2 Impact des défauts sur la convergence des résultats

La convergence des résultats pour le paramètre « possibilité d'évitement » de l'outil #57 (avec le défaut « pauvre définition des niveaux ») est assez faible, avec un pourcentage modal moyen de 53 %. Cela se reflète aussi sur la correspondance entre les réponses des sujets et les niveaux de possibilité d'évitement de référence présentés au tableau 31. Pour le scénario M en particulier, on remarque que seulement 13 % des sujets ont choisi le niveau de référence. Il semble donc que les sujets ont pu avoir certaines difficultés à distinguer entre les niveaux intermédiaires de ce paramètre, à savoir « 2. Probable », « 3. Possible » et « 4. Rare ».

Pour le paramètre « possibilité d'évitement » de l'outil #114 (présumé « sans défaut »), on note une convergence des résultats sensiblement meilleure, avec un pourcentage modal moyen de 60 %. Par contre, on remarque le même problème de correspondance avec le niveau de référence pour le scénario M.

3.7.3 Impact des défauts sur le niveau de difficulté d'application du paramètre

Comme le montre le tableau 30, la présence du défaut « pauvre définition des niveaux » dans le paramètre de l'outil #57, semble avoir rendu plus difficile le choix des niveaux par les sujets. Au total, les sujets ont indiqué avoir eu de la difficulté à faire leur choix 33 fois avec ce paramètre,

comparativement à 21 fois pour le paramètre de l’outil #114, présumé sans défaut. De même, on note un total de 47 commentaires en lien avec ce défaut émis par les sujets. Le scénario M semble avoir causé le plus de difficultés aux sujets avec les deux paramètres.

3.7.4 Constatations relatives à l’impact des défauts associés au paramètre « possibilité d’évitement »

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l’avant la constatation suivante concernant le paramètre « durée d’exposition » :

Comme pour les autres paramètres, le défaut « pauvre définition des niveaux » a un impact notable sur ce paramètre, avec un pourcentage modal moyen de 53 % et 47 commentaires négatifs le mettant directement en cause.

3.8 Analyse des défauts associés au paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux (Pe) »

Le tableau 33 présente les éléments d’analyse du paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux ».

Tableau 33. Analyse du paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux ».

Probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux (Pe)			Scénario A				Scénario G				Scénario M				Scénario S			
	Outil	Nbre de niveaux	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre *	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total	Pourcentage modal	Nbre de sujets ayant eu une difficulté à répondre	Nbre de commentaires négatifs en lien avec le défaut	Nbre de commentaires négatifs total
Sans défaut	19	3	56	7	0	12	68	7	0	14	79	7	0	14	83	4	0	10
Définitions incohérentes des différents niveaux	62	5	40	4	11	12	36	6	12	14	58	6	10	10	38	8	7	8

* Nombre de sujets ayant répondu que leur choix fut « Assez difficile » ou « Très difficile » (sous-section 2.3.1)

3.8.1 Description des paramètres et des défauts étudiés

Les tableaux ci-dessous montrent les résultats des choix faits par les sujets pour les deux paramètres étudiés et pour chacun des quatre scénarios. Les tableaux montrent, entre autres, que le mode ne correspond au niveau de référence de probabilité d’occurrence du dommage que dans quatre cas sur huit.

Le tableau 34 présente les résultats pour le paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux » de l’outil #19, sélectionné comme un paramètre présumé « sans défaut », c’est-à-dire qu’il ne présentait aucun des défauts spécifiquement analysés dans le cadre de l’étude.

Tableau 34. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux » de l’outil #19.

Scénario	Niveau du paramètre		
	1. Faible - si peu probable qu'on peut présumer que l'occurrence ne se produira jamais	2. Moyenne - occurrence vraisemblable durant le cycle de vie d'un élément	3. Élevée - Probabilité d'occurrence fréquente
A	0	44	56
G	4	68	28
M	0	79	21
S	8	83	8

Seul le défaut « définitions incohérentes des différents niveaux » a pu être évalué pour le paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux ». Le tableau 35 présente les résultats pour le paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux » de l’outil #62, qui visait ce défaut. Ce paramètre a été sélectionné en raison du manque de cohérence dans les explications concernant les « mesures prises »; les quatre premiers niveaux indiquent, de manière plus ou moins similaire, que des mesures sont prises pour réduire la probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux. Entre autres, on remarque que le second niveau fait référence à des « mesures partiellement prises » alors que le 4^e niveau fait référence à « un début de mesures ».

Tableau 35. Proportion des sujets (%) ayant sélectionné un niveau donné pour chaque scénario, pour le paramètre « probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux » de l’outil #62.

Scénario	Niveau du paramètre				
	p0=1 : évènement difficilement imaginable (mesures conformes à l'état de la technique)	p0=2 : évènement imaginable, mais inhabituel (mesures prises)	p0=3 : l'évènement est possible (mesures partiellement prises, des insuffisances évidentes)	p0=4 : on peut s'attendre à ce que l'évènement se produise (il y a un début de mesures)	p0=5 : il faut s'attendre à ce que l'évènement se produise (pas de mesures existantes)
A	0	4	40	20	36
G	0	36	36	28	0
M	0	13	58	21	8
S	0	29	38	21	13

3.8.2 Impact des défauts sur la convergence des résultats

Comme le montre le tableau 33, la convergence des résultats pour le paramètre « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux » de l'outil #62, présentant le défaut « définitions incohérentes des différents niveaux », est nettement plus faible que celle du paramètre de l'outil #19, présumé sans défaut. Comme le détaille le tableau 35, les réponses des sujets sont passablement dispersées pour ce paramètre. Avec un pourcentage modal moyen de 43 %, ce paramètre a le plus faible taux de convergence de tous les paramètres soumis aux sujets dans le cadre de cette étude. Cela suggère que l'incohérence des définitions impliquant la notion des « mesures prises » pour réduire la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux a pu confronter les sujets à des notions ambiguës se traduisant en une plus grande dispersion de leurs réponses. Ce constat semble d'ailleurs appuyé par les commentaires émis par les sujets.

3.8.3 Impact des défauts sur le niveau de difficulté d'application du paramètre

Étonnamment, ce faible taux de convergence des résultats de l'application du paramètre de l'outil #62 se reflète assez peu dans le niveau de difficulté indiqué par les sujets. Par contre, la très grande majorité des commentaires négatifs formulés (40 commentaires en lien sur 44 commentaires négatifs au total) vont dans le sens du défaut. Par exemple :

- *Hésitation entre 3 et 4. Que veut dire début de mesures et mesures partielles, synonyme.*
- *Définir début de mesures et mesures partielles ainsi que définir mesures.*
- *Il n'y a pas une distinction claire entre le niveau p03 et p04 vs un début de mesures incomplètes.*
- *Les () font hésiter entre 4 et 5. Coter avec la première partie de la définition qui ne 'fit' pas avec la 2e partie.*
- *Recoupement entre les choix 3-4-5.*
- *Difficile de faire la différence entre 2 et 3.*
- *Hésitation entre 2 et 3, ils se ressemblent.*
- *La notion de 'mesure prise' qui n'est pas évidente. Le nombre de catégories est bon.*
- *Les niveaux 2 à 5 trop similaires.*

3.8.4 Constatations relatives à l'impact des défauts associés au paramètre « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux »

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l'avant la constatation suivante concernant le paramètre « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux » :

Tout comme pour les paramètres « gravité du dommage » et « probabilité d'occurrence du dommage », l'impact du défaut « définitions incohérentes des différents niveaux » semble important. Aussi, malgré le fait que les sujets n'ont pas toujours indiqué que ce défaut a pu rendre plus difficile le processus de sélection, ils ont été en mesure de reconnaître sa présence et son impact potentiel sur le paramètre « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux ».

4. RÉSULTATS - ANALYSE DE L'APPLICATION DES OUTILS D'ESTIMATION DU RISQUE

4.1 Outil #19

4.1.1 Performance de l'outil pour le classement des scénarios

Les résultats au regard du classement des scénarios avec l’outil #19 sont présentés au tableau 36.

Tableau 36. Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #19 par rapport au classement de référence.

	Nombre d’occurrences
Classement comparable au classement de référence	15
Cas où 3 ou 4 scénarios sont estimés au même niveau de risque	4
Cas d’inversion des niveaux de risque des scénarios par rapport au classement de référence	6

Le tableau 36 montre que les classements obtenus sont indéterminés pour quatre sujets. Il montre aussi que six sujets ont inversé l’ordre d’un ou de plusieurs des scénarios par rapport à l’ordre de référence (par exemple, en estimant le scénario S comme étant moins à risque que le scénario M). Les 15 autres sujets ont obtenu un classement des scénarios comparable au classement de référence. Toutefois, sur le plan de la distinction entre les scénarios à niveaux de risque différents, l’outil #19 caractérise difficilement les scénarios à niveaux de risque faible et intermédiaire faible. En effet, sur les 15 sujets obtenant un classement comparable à la référence, 13 n’ont pas été en mesure de distinguer les scénarios A et G (17 sur les 25 sujets au total). En revanche, les scénarios à niveau de risque intermédiaire élevé et élevé ont bien été distingués. C’est particulièrement le cas pour le scénario S, où 18 des 25 sujets ont obtenu un niveau de risque strictement plus élevé que celui des autres scénarios. De plus, 11 sujets ont strictement distingué les scénarios M et S dans cet ordre. En comparaison, seulement deux sujets ont obtenu le niveau de risque strictement le plus faible pour le scénario A.

4.1.2 Convergence et satisfaction des utilisateurs

Le tableau 37 présente le résumé des données concernant l’analyse de la convergence et de la satisfaction des utilisateurs de l’outil #19.

Tableau 37. Résumé des données d’analyse de l’outil #19.

Scénario	Satisfaction				Convergence
	Nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu*	Nombre de commentaires négatifs			
		Niveau trop élevé	Niveau trop faible	Total	
A	6	3	4	7	52
G	6	3	6	9	64
M	10	0	11	11	92
S	7	5	5	10	44
Total	29	11	26	37	63

* Nombre de sujets ayant répondu « Plutôt en désaccord » ou « Tout à fait en désaccord » (sous-section 2.3.2.2)

La convergence globale pour l’outil #19 est proche du seuil critique de 60 %. Elle est en deçà du seuil pour les scénarios à niveau de risque faible et élevé (respectivement A et S). La répétabilité intersujets pour le scénario M est, au contraire, élevée (92 %).

D’après le nombre du sujet en désaccord avec le niveau de risque obtenu et le nombre de commentaires négatifs, l’outil #19 n’a pas satisfait les sujets pour les scénarios à niveau de risque intermédiaire-élevé et à niveau élevé (respectivement M et S). Pour le scénario M, 11 sujets sur 25 considèrent que le niveau de risque calculé avec cet outil est trop faible. Les 10 commentaires concernant les résultats pour le scénario S sont partagés. Ce résultat est à mettre en lien avec le pourcentage modal faible. Il est intéressant de noter que le scénario pour lequel la convergence des résultats est la meilleure est aussi celui qui a généré le plus d’insatisfaction.

4.1.3 Principales constatations relatives à l’outil #19

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l’avant les difficultés suivantes concernant l’outil #19 :

- Difficulté à distinguer les scénarios à niveau de risque faible ou intermédiaire-faible;
- Niveau de satisfaction relativement bas pour le scénario à niveau de risque intermédiaire-élevé (niveau obtenu trop faible) ;
- Pourcentage modal faible pour le scénario à niveau de risque élevé, à mettre en lien avec les commentaires partagés (trop faible ou trop élevé) sur le niveau de risque obtenu.

4.2 Outil #24

4.2.1 Performance de l’outil pour le classement des scénarios

Les résultats au regard du classement des scénarios avec l’outil #24 se trouvent au tableau 38. Le classement est indéterminé pour 5 sujets, et 10 sujets ont inversé l’ordre d’un ou de plusieurs des scénarios par rapport à l’ordre de référence. Douze sujets ont obtenu un classement des scénarios comparable au classement de référence. Cela représente moins de la moitié des sujets seulement.

Tableau 38. Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #24 par rapport au classement de référence.

	Nombre d’occurrences
Classement comparable au classement de référence	12
Cas où 3 ou 4 scénarios sont estimés au même niveau de risque	5
Cas d’inversion des niveaux de risque des scénarios par rapport à l’ordre de référence	10

En ce qui concerne la capacité de l’outil à distinguer les scénarios à niveaux de risque différents, 42 des couples sujet/scénario sont strictement distingués. Ce qui indique que dans 58 % des cas le niveau de risque n’a pas pu être distingué pour deux (22 fois) ou trois (5 fois) scénarios.

4.2.2 Convergence et satisfaction des utilisateurs

Le tableau 39 contient le résumé des données concernant l’analyse de la convergence et de la satisfaction des utilisateurs de l’outil #24.

Tableau 39. Résumé des données d’analyse de l’outil #24.

Scénario	Satisfaction				Convergence
	Nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu	Nombre de commentaires négatifs			
		Niveau trop élevé	Niveau trop faible	Total	
A	6	2	4	6	48
G	2	2	0	2	48
M	5	3	0	3	76
S	2	2	0	2	68
Total	15	9	4	13	60

L’outil #24 ne dépasse aucun seuil critique pour le critère satisfaction de l’utilisateur. Parmi les 13 commentaires, neuf font état d’un niveau de risque calculé trop élevé (répartis sur les quatre scénarios), et quatre estiment que le niveau de risque calculé est trop faible pour le scénario A.

Contrairement au critère de satisfaction qui est respecté (moins de sept sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu), la convergence globale de l’outil #24 atteint tout juste le seuil critique (établi à 60 %). En particulier, à peine la moitié des utilisateurs obtiennent le même niveau de risque pour les scénarios A et G.

4.2.3 Principales constatations relatives à l’outil #24

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l’avant les constatations suivantes concernant l’outil #24 :

- Difficulté à classer les scénarios (quatre inversions A/G, quatre inversions M/S, notamment);
- Bonne satisfaction par rapport au résultat obtenu;
- Faible convergence pour les scénarios A et G.

4.3 Outil #69

4.3.1 Performance de l’outil pour le classement des scénarios

Les résultats au regard du classement des scénarios avec l’outil #69 se trouvent au tableau 40.

Tableau 40. Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #69 par rapport au classement de référence.

	Nombre d’occurrences
Classement comparable au classement de référence	20
Cas où 3 ou 4 scénarios sont estimés au même niveau de risque	0
Cas d’inversion des niveaux de risque des scénarios par rapport à l’ordre de référence	5

L’outil #69 se démarque des autres par sa capacité à distinguer les scénarios à niveaux de risque différents et à les distribuer selon le classement de référence. En effet, 20 des 25 sujets ont obtenu un classement comparable au classement de référence. Douze sujets ont strictement obtenu le classement de référence. De plus, avec 76 % des couples sujet/scénario strictement distingués, il est le seul outil à avoir majoritairement su différencier les scénarios les uns des autres. À douze reprises, 2 scénarios ont obtenu le même niveau de risque. À chaque fois, il

s’agissait soit des scénarios A et G, soit des scénarios M et S qui n’ont pas été distingués. C’est donc avec cet outil que le plus de sujets ont obtenu un classement identique ou proche de l’ordre de référence.

La bonne performance de l’outil #69 sur le plan de la distinction des scénarios, sans égard au classement, est peut-être liée au fait qu’il ait 11 niveaux de risque.

4.3.2 Convergence et satisfaction des utilisateurs

Le tableau 41 contient le résumé des données concernant l’analyse de la convergence et de la satisfaction des utilisateurs de l’outil #69. La convergence des résultats obtenus avec cet outil est de 72 % pour les scénarios A, M et S. En revanche, avec 56 %, elle est en dessous du seuil critique pour le scénario G.

Les scénarios à niveaux de risque faible et intermédiaire-faible (respectivement A et G) ont généré de l’insatisfaction. En effet, ces deux cas atteignent ou dépassent les seuils critiques pour le nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu et pour le nombre de commentaires négatifs. Les scénarios à niveaux de risque intermédiaire-élevé et élevé, quant à eux, ne semblent pas avoir posé de problème aux sujets, car aucun des seuils n’a été atteint pour les scénarios M et S.

Tableau 41. Résumé des données d’analyse de l’outil #69.

Scénario	Satisfaction				Convergence
	Nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu	Nombre de commentaires négatifs			Pourcentage modal (outils ramenés à 4 niveaux)
		Niveau trop élevé	Niveau trop faible	Total	
A	15	0	21	21	72
G	10	2	8	10	56
M	5	1	2	3	72
S	5	4	2	6	72
Total	35	7	33	40	68

4.3.3 Principales constatations relatives à l’outil #69

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l’avant les constatations suivantes concernant l’outil #69 :

- Très bonne performance pour le classement des scénarios;

- Très bonne distinction des scénarios, probablement due au fait que cet outil possède 11 niveaux de risque;
- Forte insatisfaction pour les scénarios à niveau de risque faible ou intermédiaire-faible, pour lesquels les commentaires signalent un niveau de risque obtenu trop faible. Cela est probablement dû au fait que le niveau de risque le plus faible est coté « zéro » sur l’échelle de cet outil;
- La convergence est relativement bonne, excepté pour le scénario G.

4.4 Outil #89

4.4.1 Performance de l’outil pour le classement des scénarios

Les résultats au regard du classement des scénarios avec l’outil #89 se trouvent au tableau 42. Près de la moitié des sujets a obtenu un classement différent de l’ordre de référence (9) ou un ordre indéterminé (4). Les 12 autres sujets ont obtenu un classement selon l’ordre de référence élargi. L’outil #89 n’a donc pas très bien performé par rapport au classement des scénarios.

Tableau 42. Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #89 par rapport au classement de référence.

	Nombre d’occurrences
Classement comparable au classement de référence	14
Cas où trois ou quatre scénarios sont estimés au même niveau de risque	9
Cas d’inversion des niveaux de risque des scénarios par rapport à l’ordre de référence	4

En ce qui concerne la capacité de l’outil à distinguer les scénarios à niveaux de risque différents, 35 couples sujet/scénario sont strictement distingués. Ce qui indique que dans 65 % des cas le niveau de risque n’a pas pu être distingué entre deux (26 fois), trois (3 fois) ou même quatre (1 fois) scénarios

4.4.2 Convergence et satisfaction des utilisateurs

Le tableau 43 contient le résumé des données concernant l’analyse de la convergence et de la satisfaction des utilisateurs de l’outil #89.

Tableau 43. Résumé des données d’analyse de l’outil #89.

Scénario	Satisfaction				Convergence
	Nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu	Nombre de commentaires négatifs			Pourcentage modal (outils ramenés à 4 niveaux)
		Niveau trop élevé	Niveau trop faible	Total	
A	7	5	0	5	64
G	6	5	2	7	48
M	2	3	0	3	64
S	6	2	6	8	52
Total	21	15	8	23	57

L’outil #89 atteint tous les critères de satisfaction de l’utilisateur. Il y a sept sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu pour le scénario A, mais il recueille peu de commentaires négatifs (5). Cet outil semble donc satisfaire les utilisateurs.

Bien que le seuil critique pour le nombre de commentaires négatifs ne soit jamais atteint, il y a tout de même 23 commentaires négatifs au total (sur une possibilité de 100), soit près d’un quart. Il y en a suffisamment pour que la nature des commentaires soit significative. Or, 15 des 23 commentaires négatifs sont à l’effet que le niveau de risque obtenu est trop élevé.

Par ailleurs, le critère de convergence est proche ou en deçà du seuil critique pour chacun des scénarios. Par conséquent, la convergence moyenne pour les quatre scénarios ne répond pas au critère de convergence.

4.4.3 Principales constatations relatives à l’outil #89

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l’avant les constatations suivantes concernant l’outil #89:

- Performance modeste pour le classement des scénarios;
- Bonne satisfaction des utilisateurs, mais la convergence des résultats est faible;
- Les commentaires signalent un niveau de risque trop élevé.

4.5 Outil #91

4.5.1 Performance de l’outil pour le classement des scénarios

Les résultats au regard du classement des scénarios avec l’outil #91 se trouvent au tableau 44.

Tableau 44. Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #91 par rapport au classement de référence.

	Nombre d’occurrences
Classement comparable au classement de référence	10
Cas où trois ou quatre scénarios sont estimés au même niveau de risque	3
Cas d’inversion des niveaux de risque des scénarios par rapport à l’ordre de référence	12

L’outil #91 a une faible performance pour le classement des scénarios. Dix sujets seulement ont trouvé un classement comparable au classement de référence. De plus, avec 12 cas, il est l’outil qui a engendré le plus d’inversions des niveaux de risque par rapport à la référence.

Il est à noter que le scénario A (niveau de risque de référence le plus faible) est toujours classé au niveau de risque faible ou intermédiaire-faible et que le scénario S (niveau de risque de référence le plus élevé) est toujours classé au niveau de risque intermédiaire-élevé ou élevé. Toutefois, les scénarios au niveau de risque intermédiaire sont plus difficiles à situer avec l’outil #91. En effet, le scénario G se retrouve aux quatre positions possibles, et le scénario M se retrouve à trois positions différentes (jamais au niveau de risque le plus faible des quatre scénarios).

En ce qui concerne la capacité de l’outil à distinguer les scénarios à niveaux de risque différents, 39 couples sujet/scénario sont strictement distingués. Ce qui explique que dans 61 % des cas le niveau de risque n’a pas pu être distingué pour deux (26 fois) ou trois (3 fois) scénarios.

4.5.2 Convergence et satisfaction des utilisateurs

Le tableau 45 contient le résumé des données concernant l’analyse de la convergence et de la satisfaction des utilisateurs de l’outil #91.

Tableau 45. Résumé des données d’analyse de l’outil #91.

Scénario	Satisfaction				Convergence
	Nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu	Nombre de commentaires négatifs			Pourcentage modal (outils ramenés à 4 niveaux)
		Niveau trop élevé	Niveau trop faible	Total	
A	8	1	7	8	80
G	12	3	3	6	44
M	13	0	15	15	76
S	7	0	8	8	52
Total	40	4	33	37	63

L’outil #91 est celui qui a généré le plus d’insatisfaction, au vu du nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu (40). Il a généré 37 commentaires négatifs au total. Notons, en particulier, que cet outil semble poser problème avec le scénario à niveau de risque intermédiaire-élevé (scénario M) puisqu’il dépasse les seuils critiques des deux indices de satisfaction et est à l’origine de près de la moitié des commentaires négatifs. De plus, tous les commentaires négatifs concernant ce scénario vont dans le même sens : le niveau de risque calculé est trop faible. Cette tendance à la sous-estimation semble indépendante du scénario, d’après les 33 commentaires sur 37 au total qui vont dans ce sens.

La convergence est bonne pour le scénario A (niveau de risque faible) et, de façon surprenant, pour le scénario M (niveau de risque intermédiaire-élevé). En revanche, le critère de convergence n’est pas satisfait pour le scénario G (niveau de risque intermédiaire-faible) et le scénario S (niveau de risque élevé).

4.5.3 Principales constatations relatives à l’outil #91

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l’avant les constatations suivantes concernant l’outil #91 :

- Mauvaise performance pour le classement des scénarios;
- Difficulté à distinguer les scénarios à niveaux de risque faible et intermédiaire-faible;
- Bonne convergence pour les scénarios A et M, mais mauvaise pour les scénarios G et S;
- Forte insatisfaction due, selon les commentaires, à une tendance à une sous-estimation.

4.6 Outil #114

4.6.1 Performance de l’outil pour le classement des scénarios

Les résultats au regard du classement des scénarios avec l’outil #114 se trouvent au tableau 46.

Tableau 46. Comparaison du classement des scénarios obtenu avec l’outil #114 par rapport au classement de référence.

	Nombre d’occurrences
Classement comparable au classement de référence	15
Cas où 3 ou 4 scénarios sont estimés au même niveau de risque	3
Cas d’inversion des niveaux de risque des scénarios par rapport à l’ordre de référence	7

Le niveau de risque n’a pu être distingué dans 77 % des cas pour deux (34 fois) ou trois (3 fois) scénarios. À noter qu’il semble difficile de distinguer les scénarios à niveaux de risque faible et intermédiaire-faible, et les scénarios à niveaux de risque intermédiaire-élevé et élevé. Pourtant, malgré le faible taux de distinction, l’outil #114 performe relativement bien pour le classement des scénarios à niveaux de risque différents, comparativement aux autres outils. En effet, avec 15 des 25 sujets qui obtiennent un classement des scénarios comparable à la référence, il se classe deuxième, ex æquo avec l’outil #19.

4.6.2 Convergence et satisfaction des utilisateurs

Le tableau 47 contient le résumé des données concernant l’analyse de la convergence et de la satisfaction des utilisateurs de l’outil #114.

Tableau 47. Résumé des données d’analyse de l’outil #114.

Scénario	Satisfaction				Convergence
	Nombre de sujets en désaccord avec le niveau de risque obtenu	Nombre de commentaires négatifs			Pourcentage modal (outils ramenés à 4 niveaux)
		Niveau trop élevé	Niveau trop faible	Total	
A	6	5	1	6	80
G	5	5	2	7	60
M	5	6	0	6	76
S	6	3	0	3	96
Total	22	19	3	22	78

L’outil #114 répond à tous les critères de satisfaction de l’utilisateur. On remarque, toutefois, que 19 des 22 commentaires négatifs émis par les sujets qui sont en désaccord avec le niveau de risque calculé concernent un niveau jugé trop élevé.

La convergence est bonne également pour l’outil #114, avec une moyenne de 78 %. Le seuil critique est juste atteint avec un pourcentage modal de 60 % pour le scénario G (niveau de risque intermédiaire faible).

4.6.3 Principales constatations relatives à l’outil #114

Les observations et analyses présentées aux sections précédentes permettent de mettre de l’avant les constatations suivantes concernant l’outil #114 :

- Performance modeste pour le classement des scénarios;

- Très faible taux de distinction entre les scénarios à niveaux de risque faible et intermédiaire-faible, et entre les scénarios à niveaux de risque intermédiaire-élevé et élevé;
- Bonne satisfaction des utilisateurs et bonne convergence (limite pour le scénario G);

Les commentaires signalent que le niveau de risque obtenu est trop élevé, contrairement à ce qui avait été évalué lors de l'étude précédente (tendance à la sous-estimation).

5. DISCUSSION

L'objectif premier de cette étude était de confirmer, par le biais d'une expérimentation pratique, l'impact réel et perçu des défauts et des biais dans la configuration des paramètres ainsi que dans les outils d'estimation du risque. Ultimement, cet avancement des connaissances vise à proposer des configurations robustes et fiables pour les outils d'estimation du risque et à définir des critères éclairés pour l'évaluation des outils existants ou pour l'élaboration de nouveaux outils spécifiques.

En ce qui a trait aux paramètres d'estimation du risque, cinq des défauts potentiels déterminés dans l'étude précédente de cette programmation de recherche ont pu être analysés, à savoir :

1. Pauvre définition des niveaux;
2. Définitions incohérentes des différents niveaux;
3. Nombre de niveaux inadéquat;
4. Écart entre les niveaux;
5. Absence d'intervalle d'exposition.

Sur le plan de l'architecture des outils d'estimation du risque, quatre des défauts potentiels établis dans l'étude précédente de cette programmation de recherche ont pu être analysés, à savoir :

1. Configuration non standard;
2. Distribution non uniforme;
3. Discontinuité des niveaux de risque;
4. Poids relatif d'un paramètre trop important.

Les sections suivantes dressent le bilan des principaux constats tirés de cette étude.

5.1 Impact des défauts sur le processus d'estimation du risque

Le premier constat général concerne la capacité des sujets à reconnaître les défauts présents dans la construction des paramètres d'estimation du risque. En effet, les résultats expérimentaux montrent que lorsque les sujets perçoivent une certaine difficulté d'application d'un paramètre, ils sont généralement capables d'associer cette difficulté à la présence d'un défaut. Ce constat est appuyé par la forte corrélation entre le nombre de commentaires négatifs et le niveau de difficulté exprimé (voir figure 3).

Par contre, la perception des sujets quant à la difficulté d’application des différents paramètres n’est pas bien corrélée à la convergence des résultats (voir figure 4). C’est donc dire que même lorsque le niveau de difficulté perçu est faible, la convergence par rapport aux niveaux choisis par les sujets peut parfois être mauvaise. Les sujets choisissent alors des niveaux différents en fonction de leur compréhension individuelle de la relation entre la construction du paramètre et de ses niveaux, et les situations dangereuses. Ce constat peut être une indication à l’effet que la présence de certains défauts, dans certains paramètres et dans certains cas, peut influencer, voire biaiser le processus de sélection d’un niveau par le sujet, sans que cette influence ne soit perçue négativement par ce dernier. Certains défauts peuvent donc parfois influencer le processus d’estimation du risque sans que leur présence et leur influence ne soient reconnues par les utilisateurs.

Par ailleurs, les résultats indiquent aussi de manière assez évidente que l’impact des défauts de construction des paramètres n’est pas uniforme. On observe, en effet, des variantes importantes non seulement selon le type de paramètres, mais également selon le scénario de situation dangereuse analysé.

Pour les types de paramètres, ceux concernant la gravité du dommage semblent relativement robustes et permettent d’obtenir un bon consensus entre les utilisateurs sur le niveau de gravité du dommage potentiel que peut présenter une situation, malgré la présence de défauts. Cela n’exclut pas cependant que les sujets puissent reconnaître les défauts en présence, puisque 74 % de tous les commentaires négatifs exprimés par les sujets sont en lien avec les différents défauts. Par contre, les paramètres concernant la probabilité (probabilité d’occurrence du dommage et probabilité d’occurrence de l’évènement dangereux) sont nettement moins robustes, ce qui se traduit généralement par une moins bonne convergence. Outre la présence des défauts dans ces paramètres, les résultats obtenus montrent que l’évaluation de la probabilité est un aspect problématique de l’estimation du risque et qu’une attention particulière doit y être accordée. De même, les résultats expérimentaux suggèrent que le paramètre « durée d’exposition » est plus sensible aux défauts et plus difficile d’application que le paramètre relatif à la fréquence d’exposition dans l’estimation du risque.

La nature du défaut, sa position dans l’échelle du paramètre et le scénario en présence influencent aussi l’impact qu’il aura sur l’établissement du niveau d’un paramètre. Cela peut se manifester autant dans la convergence des résultats que dans le niveau de difficulté ou le nombre de commentaires négatifs qui y sont associés. Par exemple, certains défauts n’ont aucun impact pour l’établissement de la gravité du dommage lorsque le potentiel de celui-ci est très élevé, mais ils peuvent impacter davantage l’établissement des niveaux de gravité pour les dommages faibles ou intermédiaires. L’impact très variable du défaut « écart entre les niveaux » a également permis d’établir ce constat. Cela pourrait expliquer le comportement de certains outils d’estimation du risque analysés dans l’étude précédente, qui avaient très nettement surestimé ou sous-estimé le risque de certains des 20 scénarios de situations dangereuses (Chinniah et al., 2011).

5.1.1 Impact du défaut « pauvre définition des niveaux »

Le défaut « pauvre définition des niveaux » est celui qui a eu le plus d'impact sur le choix des niveaux des paramètres d'estimation du risque. Ce défaut a été évalué avec quatre types de paramètres :

- Gravité du dommage (S) (deux énoncés évalués);
- Probabilité d'occurrence du dommage (Ph);
- Durée d'exposition (Exd);
- Possibilité d'évitement (A).

Les résultats obtenus pour ce défaut sont :

- Un pourcentage modal moyen de 63 % (comparativement à 65 % pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 7,4 sujets ayant indiqué un niveau de difficulté de 4 ou 5 à chaque application (comparativement à 5,2 pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 11,5 commentaires négatifs en lien avec le défaut, émis à chaque application (comparativement à 6,9 pour l'ensemble des défauts);
- Une correspondance du mode avec le niveau de référence 16 fois sur 20.

À la lumière de l'analyse de ces résultats expérimentaux, l'impact de ce défaut sur le processus d'estimation du risque peut être confirmé. Tant les résultats quantitatifs que l'analyse qualitative des commentaires émis par les sujets confirment l'aspect négatif important de ce défaut. Son influence est manifeste pour les quatre types de paramètres avec lesquels il a été évalué.

Ainsi, comme avancé dans l'étude précédente de la programmation de recherche, les niveaux des paramètres doivent être définis de manière adéquate pour rendre plus robuste le processus d'estimation du risque. Certains outils n'emploient que des termes ou expressions figuratifs pour définir les divers niveaux de leurs paramètres (ex. : « possible » ou « probable » pour le paramètre Ph, ou « rare à assez fréquente » pour le paramètre Exf). Or, l'emploi de termes figuratifs laisse 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 niveau une interprétation différente de celle d'une autre personne. Cette difficulté d'interprétation est amoindrie lorsqu'une définition détaillée est proposée. 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, réduisant les difficultés et favorisant une plus grande convergence des résultats de l'estimation du risque. Ces observations

confirment celles d'autres auteurs (Carey et Burgman, 2008; Christensen et al., 2003; Cox, 2008; Patt et Schrag, 2003).

5.1.2 Impact du défaut « définitions incohérentes des différents niveaux »

Le défaut « définition incohérente des différents niveaux » a lui aussi un impact important sur le choix des niveaux des paramètres d'estimation du risque. Ce défaut a été évalué avec trois types de paramètres :

- Gravité du dommage (S);
- Probabilité d'occurrence du dommage (Ph);
- Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux (Pe).

Les résultats obtenus pour ce défaut sont :

- Un pourcentage modal moyen de 55 % (comparativement à 65 % pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 6,2 sujets ayant indiqué un niveau de difficulté de 4 ou 5 à chaque application (comparativement à 5,2 pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 10,2 commentaires négatifs en lien avec le défaut, émis à chaque application (comparativement à 6,9 pour l'ensemble des défauts);
- Une correspondance du mode avec le niveau de référence 8 fois sur 12.

Comme pour le défaut « pauvre définition des niveaux », les résultats expérimentaux confirment l'impact important du défaut « définitions incohérentes des différents niveaux » sur les choix des niveaux pour les paramètres d'estimation du risque. L'impact d'une incohérence dans les définitions des niveaux a été observé sur les trois types de paramètres pour lesquels il a été évalué. En ce qui a trait au pourcentage modal (convergence intersujets), ce défaut a obtenu le pire résultat (55 %), affectant même le paramètre « gravité du dommage », relativement peu influencé par les autres défauts. Il a aussi particulièrement affecté le paramètre « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux (Pe) », avec un pourcentage modal de 43 % et 40 commentaires négatifs. L'analyse qualitative des commentaires émis par les sujets confirme aussi l'impact négatif important d'une incohérence dans les définitions des niveaux des paramètres dans le processus d'estimation du risque.

Ainsi, comme avancé dans l'étude précédente de la programmation de recherche, bien qu'ils définissent de façon relativement détaillée chacun de leurs niveaux, certains paramètres d'estimation du risque emploient des termes inappropriés, confondants ou trop semblables sur le

plan sémantique. Les exemples des paramètres tirés des outils #6, #62 et #66 illustrent bien les différentes formes que peut prendre ce défaut de construction.

Afin d'éviter de confondre certains utilisateurs, il est souhaitable de fournir des définitions précises et complètes, et d'éviter toute ambiguïté pour désigner les différents niveaux. La cohérence des termes employés en ce qui a trait à la gradation des niveaux définis par un paramètre donné se veut aussi importante (Carey et Burgman, 2008; Christensen et al., 2003; Theil, 2002; Willquist et Torner, 2003; Mosteller et Youtz, 1990). À titre d'exemple, l'utilisation de l'expression « blessure mineure » dans les deux premiers niveaux de l'échelle du paramètre « gravité du dommage » de l'outil #66 devrait être évitée. Quel que soit le paramètre, ses niveaux 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 niveaux et à sélectionner celui qui correspond à la situation de risque qu'il doit estimer.

5.1.3 Impact du défaut « nombre de niveaux inadéquat »

Ce défaut a été évalué avec un seul type de paramètres, soit « gravité du dommage (S) ». Les résultats obtenus pour ce défaut sont :

- Un pourcentage modal moyen de 90 % (comparativement à 65 % pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 2,3 sujets ayant indiqué un niveau de difficulté de 4 ou 5 à chaque application (comparativement à 5,2 pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 5,8 commentaires négatifs en lien avec le défaut, émis à chaque application (comparativement à 6,9 pour l'ensemble des défauts).

Les résultats expérimentaux suggèrent que l'utilisation de seulement deux niveaux pour établir la gravité du dommage facilite le choix pour les utilisateurs, mais que ce choix est parfois perçu comme inconfortable et contraignant. Pour l'outil #91 avec lequel l'expérimentation a été réalisée, l'aspect binaire de la définition du dommage potentiel, basée sur sa réversibilité, a semblé indisposer plusieurs des sujets, si l'on en croit les commentaires recueillis. Avec ce type de paramètres, une blessure irréversible (ex. perte d'un bout de doigt) est considérée au même niveau que le décès d'un travailleur. 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.

Ainsi, bien que le petit nombre de résultats expérimentaux ne permettent pas de conclure avec certitude, il convient de s'interroger sur l'impact de ce type de construction des paramètres sur la perception et sur le bon déroulement du processus d'estimation du risque. Par conséquent, la recommandation émanant de l'étude précédente, à l'effet que les paramètres d'estimation du risque devraient normalement comporter de 3 à 5 niveaux, demeure une approche prudente à privilégier. La norme ISO14121-2 (2007) indique d'ailleurs que les paramètres devraient comporter un minimum et un maximum de niveaux, sans toutefois en préciser le nombre.

Cependant, il est aussi possible que cette caractéristique ne constitue pas un défaut pour tous les types de paramètres. Une étude antérieure a d'ailleurs montré que le paramètre « possibilité d'évitement » ne comporte que deux niveaux dans 73 % des cas (Paques et al., 2005a).

5.1.4 Impact du défaut « écart entre les niveaux »

Ce défaut a été évalué avec quatre types de paramètres :

- Gravité du dommage (S);
- Probabilité d'occurrence du dommage (Ph);
- Fréquence d'exposition (Exf);
- Durée d'exposition (Exd).

Les résultats obtenus pour ce défaut sont :

- Un pourcentage modal moyen de 74 % (comparativement à 65 % pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 5,9 sujets ayant indiqué un niveau de difficulté de 4 ou 5 à chaque application (comparativement à 5,2 pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 6,0 commentaires en lien avec le défaut, émis à chaque application (comparativement à 6,9 pour l'ensemble des défauts);
- Une correspondance du mode avec le niveau de référence 13 fois sur 16.

Les résultats expérimentaux tendent à indiquer que l'impact du défaut « écart entre les niveaux » est variable. Son influence peut être pratiquement nulle sur la convergence (le pourcentage modal) lorsque cet écart est très grand; il oriente ou même force les sujets à choisir un niveau spécifique dans chaque cas. Il est alors perçu de la même manière que le défaut « nombre de niveaux inadéquat » et se traduit par un certain inconfort dans le processus de sélection. L'écart entre les niveaux peut d'ailleurs être plus significatif lorsque l'échelle d'un paramètre en comporte peu. Toutefois, le défaut « écart entre les niveaux » peut aussi être présent dans un paramètre comportant plusieurs niveaux, comme c'est le cas pour le paramètre « durée d'exposition » de l'outil #62, qui en comporte cinq.

La position du défaut dans l'échelle du paramètre, combinée à l'information relative au scénario à l'étude, influence aussi son impact. Lorsqu'un scénario correspond à une situation qui rejoint l'écart présent dans l'échelle du paramètre, le niveau de difficulté perçu et les commentaires montrent son impact. Dans le cas contraire, son impact peut être nul.

Ainsi, on peut conclure que ce défaut peut avoir un impact sur le processus d'estimation du risque, mais qu'il est faible ou important selon les circonstances. Il convient tout de même d'être attentif à la présence de ce défaut, puisqu'il peut favoriser la sous-estimation ou la surestimation pour certains scénarios particuliers. De plus, même si un écart important entre deux niveaux peut favoriser une meilleure convergence des résultats, cet écart crée un inconfort marqué chez les utilisateurs, ce qui peut nuire à la perception et au bon déroulement du processus d'estimation du risque.

5.1.5 Impact du défaut « absence d'intervalle d'exposition »

Ce défaut a été évalué avec un seul type de paramètres, soit « probabilité d'occurrence du dommage (Ph) ».

Les résultats obtenus pour ce défaut sont :

- Un pourcentage modal moyen de 47 % (comparativement à 65 % pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 4,3 sujets ayant indiqué un niveau de difficulté de 4 ou 5 à chaque application (comparativement à 5,2 pour l'ensemble des défauts);
- Une moyenne de 1,0 commentaire négatif en lien avec le défaut, émis à chaque application (comparativement à 6,9 pour l'ensemble des défauts).

Pour les raisons évoquées précédemment (voir sous-sections 0 et 3.4.2), il est difficile de conclure sur l'impact des défauts s'appliquant au paramètre « probabilité d'occurrence du dommage ». D'une part, de tous les énoncés de probabilité d'occurrence du dommage étudiés, seul celui de l'outil #41 (présumé « sans défaut ») comportait une indication quant à l'intervalle d'exposition. D'autre part, la convergence des résultats est mauvaise dans tous les cas. De plus, la notion de « cycle de vie », utilisée pour établir l'intervalle d'exposition dans l'énoncé du paramètre de l'outil #41, a été jugée « dérangeante » par plusieurs des sujets.

Ainsi, ces résultats peuvent indiquer :

- Que la notion de « cycle de vie », utilisée pour établir l'intervalle d'exposition manque suffisamment de précision pour être utile;
- Que les utilisateurs préfèrent définir eux-mêmes et de manière qualitative l'intervalle d'exposition dans l'estimation de la probabilité d'occurrence du dommage;
- Ou bien que l'absence d'intervalle d'exposition est un défaut qui peut influencer, voire biaiser le processus de sélection d'un niveau par le sujet, sans que cette influence soit perçue négativement par ce dernier.

Cette dernière hypothèse pourrait être une des explications à la très faible convergence (pourcentage modal) des résultats pour ce paramètre « probabilité d’occurrence du dommage ». En lien avec cette hypothèse, une analyse exhaustive des 412 commentaires émis par les sujets (pour l’ensemble des énoncés du paramètre « probabilité d’occurrence du dommage » appliqués aux quatre scénarios) n’a permis de relever que trois commentaires faisant état de l’absence d’indication quant à l’intervalle d’exposition. Très clairement, les sujets n’ont pas perçu ce manque d’information comme un facteur d’influence du processus d’estimation du risque.

Des recherches plus approfondies s’avèrent donc nécessaires afin de mieux comprendre le cheminement intellectuel menant à l’estimation qualitative de la probabilité d’occurrence d’un dommage (Carey et Burgman, 2008; Christensen et al., 2003).

5.1.6 Autres défauts et biais

Pour les deux types de paramètres d’exposition étudiés (fréquence et durée), on a pu observer qu’une trop grande complexité dans la définition d’un niveau d’un paramètre avait un impact important sur la convergence des résultats ainsi que sur le niveau de difficulté du processus de sélection. En effet, comme l’ont montré les résultats avec les paramètres « fréquence d’exposition » de l’outil #67 et « durée d’exposition » de l’outil #62, lorsqu’un calcul est requis pour choisir un certain niveau, plusieurs sujets ont clairement identifié ce facteur comme un élément nuisible au processus de sélection. On peut donc penser que cette caractéristique est un défaut supplémentaire qui peut affecter le choix d’un niveau pour le paramètre « fréquence d’exposition » et potentiellement pour d’autres paramètres d’estimation du risque.

5.2 Impact du non-respect des règles de construction concernant l’architecture des outils d’estimation du risque

En identifiant l’origine des difficultés observées lors de l’utilisation des six outils d’estimation du risque, l’impact du non-respect de certaines règles de construction concernant l’architecture des outils est discuté dans cette sous-section.

5.2.1 Outil #19

Le degré de satisfaction a été relativement faible pour le scénario à niveau de risque intermédiaire-élevé (scénario M). Les sujets ont obtenu un niveau de risque moyen (niveau 2 sur 4) alors que d’après leurs commentaires ils auraient souhaité avoir un risque élevé (niveau 3 sur 4). Si on regarde le détail des choix des paramètres, les sujets ont été constants : S2 (grave - blessure irréversible), Ex1 (rare à assez fréquent), Pe2 (moyen) et A1 (possible sous certaines conditions). D’ailleurs, le pourcentage modal obtenu pour ce scénario est élevé (92 %). Le problème d’insatisfaction se situe donc dans la répartition des niveaux de risque puisqu’un choix de gravité de niveau S2 (grave - blessure irréversible) mène dans deux tiers des cas à un risque faible ou moyen. Ce problème est une manifestation du défaut « distribution non uniforme des

niveaux de risque ». En effet, pour cet outil, 21 combinaisons de paramètres sur 36 (58 %) conduisent aux deux niveaux de risque les plus faibles.

La difficulté à distinguer les scénarios à niveaux de risque faible et intermédiaire-faible est une autre manifestation de la distribution non uniforme des niveaux de risque. Lorsque l'on choisit le niveau de gravité du dommage le plus faible, comme pour les scénarios A et G, la fréquence d'exposition et la possibilité d'évitement n'influencent pas le niveau de risque obtenu : 8 combinaisons sur les 12 mènent à un risque faible.

Le pourcentage modal faible pour le scénario à risque élevé (S) trouve son origine dans la divergence des choix faits sur le plan de la gravité du dommage et de la fréquence d'exposition. Ces paramètres ont des défauts qui se sont manifestés pour le scénario S :

- Gravité du dommage : confusion entre pire dommage ou dommage le plus probable. Comme ce n'est pas précisé dans la définition, les sujets ont choisi des niveaux de gravité différents (ex. 2. irréversible ou 3. décès);
- Fréquence d'exposition : nombre de niveau inadéquat (deux niveaux) et pauvre définition des niveaux (rare à assez fréquente; fréquente à continue).

Ces défauts sont situés sur les deux premiers paramètres de ce graphe de risque, et ces paramètres ont le poids relatif le plus important sur le résultat. En effet, comme le montre la figure 5, un changement d'un niveau de la gravité, tout en gardant les autres paramètres au même niveau (ex. S2/Ex1/Pe3/A1 comparé à S3/Ex1/Pe3/A1), peut faire passer le risque du niveau 2 (moyen) à 4 (extrêmement élevé). L'effet combiné des défauts de ces paramètres et de leur influence explique la divergence sur le niveau de risque obtenu (les quatre niveaux de risque ont été obtenus par les sujets).

L'outil #19 illustre donc l'impact négatif que peut avoir :

- Une architecture qui donne un poids relatif trop important à un ou des paramètres (ex. premier paramètre dans un graphe) et qui présente une discontinuité des niveaux de risque.

Cet impact (ex. divergence des résultats) se matérialise notamment lorsqu'il y a des défauts de construction en lien avec le paramètre le plus influent sur le résultat (ex. : pauvre définition des niveaux, nombre de niveaux inadéquat).

- Une architecture qui ne conduit pas à une distribution uniforme des niveaux de risques.

Cela conduit à des insatisfactions dans les résultats obtenus et des problèmes de discrimination des scénarios.

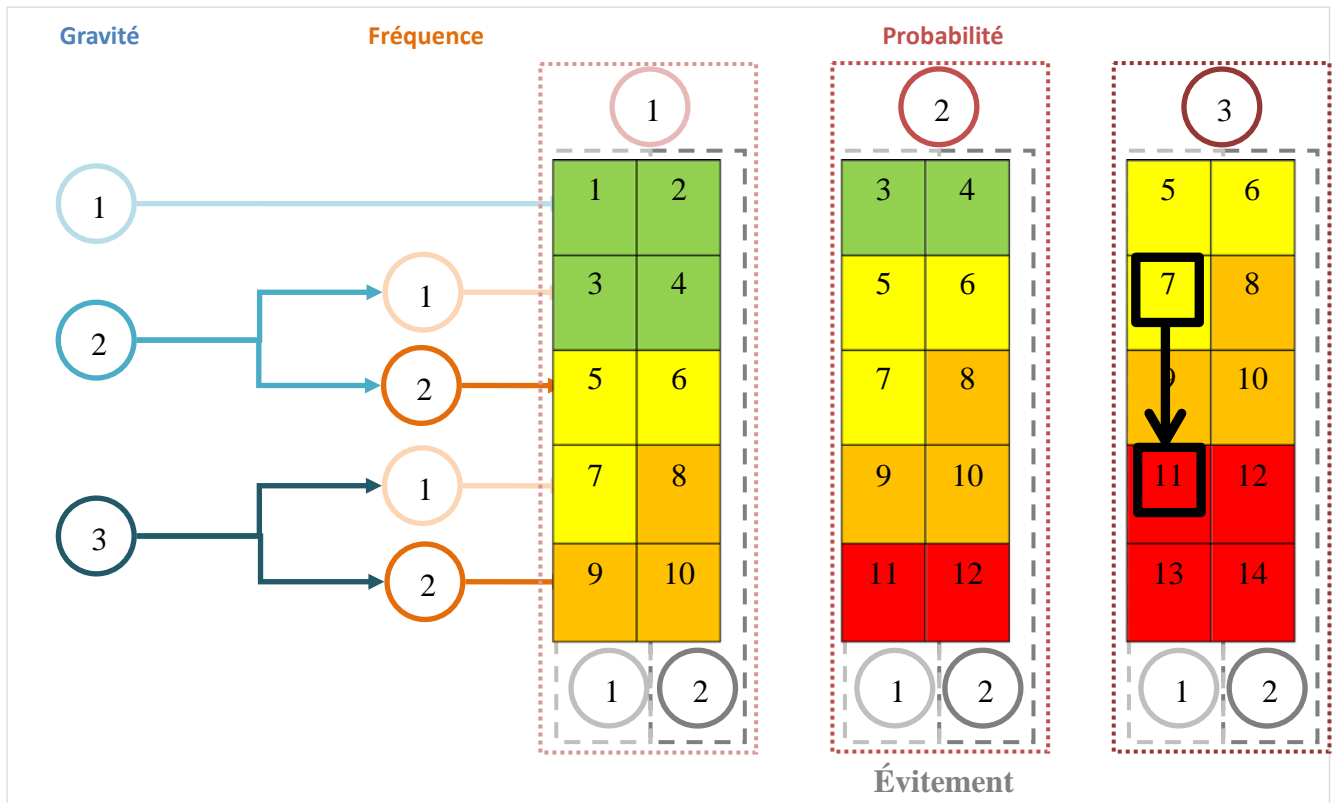


Figure 5 - Illustration de l'impact d'un changement de niveau pour le paramètre « gravité du dommage » sur le niveau de risque obtenu avec l'outil #19.

5.2.2 Outil #24

Les pourcentages modaux faibles obtenus avec l'outil #24 pour les scénarios A et G (48 %) ainsi que la difficulté à les classer dans le bon ordre sont principalement dus à la faible convergence des résultats pour la probabilité d'occurrence du dommage. En effet, le pourcentage modal pour la probabilité d'occurrence du dommage sur ces scénarios est d'environ 50 %. Cette divergence s'explique par la présence de deux défauts dans ce paramètre : « pauvre définition des niveaux » (ex. mot et définition associée pas toujours adéquats) et « écart entre les niveaux » (2. improbable et 3. probable). L'impact de ces défauts s'est traduit dans les niveaux de risque obtenus, car une matrice ayant seulement deux paramètres avec 16 combinaisons possibles pour 4 niveaux de risques est sensible au choix du niveau d'un paramètre.

L'outil #24 illustre donc l'impact négatif que peut avoir un paramètre avec des défauts dans une matrice sensible, notamment en ce qui concerne la divergence pour le niveau de risque obtenu et le classement des scénarios.

5.2.3 Outil #69

Une forte insatisfaction a été exprimée pour les scénarios à niveaux de risque faible et intermédiaire-faible avec l'outil #69. Les commentaires des sujets signalent un niveau de risque obtenu trop faible par rapport à leur perception de la situation. Deux éléments peuvent expliquer cette problématique :

- Le niveau de risque le plus faible est intitulé « 0 ». Cet intitulé n'a pas plu aux sujets pour qui le risque zéro n'existe pas.
- La distribution non uniforme de la matrice avec près de 50 % des combinaisons de paramètres (23/48) menant à un risque 0/11 ou 1/11. De plus, lorsque l'on choisit un niveau de risque faible, le choix pour le paramètre d'exposition n'a pas d'influence. C'est le même phénomène que celui observé pour l'outil #19.

Le pourcentage modal plus faible pour le scénario G s'explique principalement par des difficultés combinées dans le choix de la gravité du dommage et de la fréquence d'exposition contrairement aux autres scénarios. Ces paramètres ont des défauts qui se sont manifestés dans le scénario G :

- Gravité du dommage : définitions incohérentes des différents niveaux avec des groupes de mots qui se répètent dans plusieurs d'entre eux (ex. : dommage minimal sans conséquence permanente; dommage grave sans conséquence permanente).
- Exposition au dommage : nombre de niveaux inadéquat (c.-à-d. seulement deux niveaux).

Ces défauts concernent les deux premiers paramètres du graphe de risque. Ces paramètres sont ceux qui ont un poids relatif plus important sur le résultat. En effet, un changement d'un niveau de la gravité du dommage ou de l'exposition au dommage, en gardant les autres paramètres au même niveau (ex. S2/Ex2/A1/Pe2 comparé à S3/Ex2/A1/Pe2), peut faire passer le risque du niveau 0 au niveau 4. L'effet combiné des défauts de ces paramètres et de leur influence explique la divergence sur le niveau de risque obtenu pour le scénario G.

L'outil #69 illustre donc l'impact négatif que peut avoir :

- Une architecture qui donne plus d'influence à un ou des paramètres (ex. premier paramètre dans un graphe) et qui présente une discontinuité des niveaux de risque.

Cet impact (c.-à-d. divergence des résultats) se matérialise notamment lorsqu'il y a des défauts de construction en lien avec les paramètres ayant un poids relatif plus important sur le résultat (ex. : pauvre définition des niveaux, nombre de niveaux inadéquat).

- Une architecture avec une distribution non uniforme des niveaux de risque.

Cela conduit à des insatisfactions dans les résultats obtenus.

- L'intitulé « 0 » pour un niveau de risque (c.-à-d. insatisfaction des sujets).

5.2.4 Outil #89

Les pourcentages modaux faibles obtenus avec l’outil #89 (moyenne de 57 %) ainsi que la difficulté à classer les scénarios dans le bon ordre sont dus à la faible convergence des choix des sujets pour la probabilité d’occurrence du dommage. En effet, le pourcentage modal pour la probabilité d’occurrence du dommage est de 48 % pour le scénario A, de 56 % pour le scénario G, de 64 % pour le scénario M et de 44 % pour le scénario S. Selon les commentaires des sujets, les définitions des niveaux de ce paramètre ne seraient pas suffisamment claires (voir tableau 21), ce qui pourrait expliquer cette divergence. On peut donc penser que ce paramètre, initialement présumé « sans défaut », pourrait être affecté par la présence du défaut « pauvre définition des niveaux ». De plus, cette divergence pour le choix du paramètre de probabilité n’est pas atténuée par la matrice de l’outil #89. En effet, avec seulement deux paramètres et 12 combinaisons possibles pour 6 niveaux de risque, le niveau de risque obtenu est sensible au moindre choix du niveau d’un paramètre.

L’outil #89 illustre l’impact négatif que peut avoir un paramètre avec des défauts dans une matrice sensible au moindre changement de niveau d’un paramètre, notamment en ce qui concerne la divergence pour le niveau de risque obtenu et le classement des scénarios.

5.2.5 Outil #91

Les sujets ont éprouvé des difficultés à distinguer les scénarios à niveaux de risque faible (A) et intermédiaire-faible (G) avec l’outil #91. Cette problématique trouve son origine dans l’architecture de l’outil avec une distribution non uniforme des niveaux de risque. En effet, 15 des 24 combinaisons possibles (62,5 %) mènent à un indice de risque de 1 ou 2 (sur 6). En particulier, lorsque l’on choisit une gravité légère (S1), quels que soient les autres paramètres choisis, le niveau de risque sera de 1, sauf dans un cas (niveau 3 du paramètre « probabilité d’occurrence du dommage »).

Dans le même sens, de nombreux commentaires négatifs ont porté sur un risque estimé plus faible que celui perçu, notamment pour le scénario M. Les choix de niveau faits par les sujets convergent et semblent cohérents par rapport à ce scénario : blessure sérieuse (amputation), exposition rare (une fois aux deux jours), probabilité d’occurrence faible, et possibilité d’évitement sous certaines conditions. Toutefois, le risque obtenu par les sujets avec ces choix en utilisant le graphe de risque semble faible par rapport à la gravité potentielle de la situation et à la fréquence d’exposition. Le même constat peut être fait avec le scénario S. Là encore, ce problème est relié à la distribution non uniforme des niveaux de risque dans le graphe.

Enfin, l’outil #91 a offert une mauvaise performance pour le classement notamment des scénarios G et M; seulement 10 sujets ont obtenu un ordre en adéquation avec l’ordre de référence. Une mauvaise convergence a également été observée pour les scénarios G (44 %) et S (52 %). Cette problématique trouve son origine dans les défauts de construction des paramètres :

- Gravité du dommage : « nombre de niveaux inadéquat », « définition incohérente des différents niveaux », qui se manifeste pour le scénario G (voir tableau 14);

- Fréquence et/ou durée d’exposition : « nombre de niveaux inadéquat » et « pauvre définition des niveaux ». Pour les scénarios A, G et S, le choix de la fréquence ou de la durée de l’exposition est aléatoire puisque les sujets se sont répartis à parts presque égales sur chacun des deux niveaux.

Ces défauts sont situés sur les deux premiers paramètres du graphe de risque. Ces paramètres sont ceux qui ont le poids relatif le plus important sur le résultat. En effet, un changement d’un niveau de la gravité du dommage, en gardant les autres paramètres au même niveau (ex. S1/Ex2/Pe2/A2 comparé à S2/Ex2/Pe2/A2), peut faire passer le risque du niveau 1 au niveau 5. L’effet combiné des défauts dans les paramètres et de leur influence explique la divergence sur le niveau de risque obtenu pour le scénario G.

L’outil #91 illustre l’impact négatif que peut avoir :

- Une architecture qui donne plus d’influence à un ou des paramètres (ex. premier paramètre dans un graphe) et qui a une discontinuité des niveaux de risque.

Cet impact (c.-à-d. divergence des résultats, classement des scénarios) se matérialise notamment lorsqu’il y a des défauts de construction en lien avec les paramètres plus influents sur le résultat (ex. : pauvre définition des niveaux, nombre de niveaux inadéquat).

- Une architecture qui conduit à une distribution non uniforme des niveaux de risque.

Cela a conduit à des insatisfactions dans les résultats obtenus et des problèmes de discrimination des scénarios.

5.2.6 Outil #114

L’outil #114 performe bien pour le classement des scénarios à niveaux de risque différents. Toutefois, un faible taux de distinction a été observé entre, d’une part, les scénarios à niveaux de risque faible et intermédiaire-faible et, d’autre part, entre les scénarios à niveaux de risque intermédiaire-élevé et élevé. À la lecture des choix de paramètres effectués par les sujets, les niveaux de risque obtenus pour chaque scénario se situent en majorité dans des cases distinctes de la matrice de risque. La faible distinction entre certains scénarios trouve donc sa source dans les regroupements de niveaux de risque dans la matrice.

Un léger problème de convergence a été observé seulement dans le cas du scénario intermédiaire-faible (scénario G; pourcentage modal de 60 %). Toutefois, lorsqu’on analyse l’ensemble des choix faits par les sujets en ce qui a trait aux paramètres, on s’aperçoit qu’il y a des divergences marquées pour plusieurs scénarios : scénario A, fréquence d’exposition (pourcentage modal de 44 %, hésitation entre les niveaux 3 et 4); scénario G, possibilité d’évitement (56 %, niveaux 1 et 2); scénario S, possibilité d’évitement (48 %, niveaux 3 et 4). Un problème de convergence du niveau de risque obtenu n’a été observé que pour le scénario G

à cause de la construction de la matrice. Cette construction corrige toutefois les divergences observées pour les scénarios A et S. En effet, une hésitation entre les niveaux 3 et 4 pour la fréquence d'exposition ou pour la possibilité d'évitement n'a pas eu d'influence sur le niveau de risque obtenu.

Une légère tendance à surestimer les risques a été constatée puisque plus de 85 % des commentaires faits par les sujets vont dans ce sens (19/22). À la suite de l'analyse des choix pour les différents paramètres, cette surestimation semble provenir du paramètre « fréquence d'exposition » ayant pour défaut une pauvre définition de ses niveaux. En effet, une exposition fréquente (niveau 3 sur 4) est définie par une exposition d'au moins une fois par jour. Avec les scénarios présentés, ce niveau a obtenu près de 50 % des choix de réponse, tirant les niveaux de risque obtenus vers les deux niveaux les plus hauts.

L'outil #114 a bien performé dans l'ensemble selon nos critères d'analyse. Le fait d'avoir une configuration non standard (absence du paramètre « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux ») n'a pas semblé avoir un impact particulier sur le résultat. L'outil #114 illustre, par contre, comment des divergences au regard des paramètres peuvent être atténuées dans certains cas par l'architecture de la matrice (répartition des niveaux).

5.2.7 Synthèse de l'impact du non-respect des règles de construction concernant l'architecture des outils d'estimation du risque

À la suite de l'analyse des difficultés observées lors de l'utilisation des six outils d'estimation du risque, l'impact du non-respect de certaines règles de construction concernant l'architecture des outils a pu être confirmé. Le tableau 48 dresse un bilan et fournit des recommandations concernant le non-respect de certaines règles de construction.

Tableau 48. Synthèse de l'impact du non-respect des règles de construction concernant l'architecture des outils d'estimation du risque.

Non-respect d'une règle de construction	Explication/Source	Impact	Ex.	Considération pour l'architecture des outils
<ul style="list-style-type: none"> Distribution non uniforme 	Probabilité d'atteindre certains niveaux de risque significativement plus élevée.	Insatisfaction à l'égard du niveau de risque obtenu et difficulté à discriminer certains scénarios.	#19 #69 #91	Répartir uniformément la probabilité d'atteindre chaque niveau de risque. Certains graphes de risque peuvent masquer ce défaut.
<ul style="list-style-type: none"> Poids relatif d'un paramètre trop important Discontinuité des niveaux de risque 	Structure qui donne plus de poids à un paramètre sur le niveau de risque obtenu. Cela peut se traduire par des sauts dans le niveau de risque obtenu, liés au choix du paramètre influent. Ex. 1 ^{er} paramètre choisi dans un graphe.	Amplification de la divergence pour le niveau de risque obtenu lors de la présence d'un défaut sur les paramètres les plus influents.	#19 #69 #91	Porter une attention particulière à la présence d'un défaut (ex. : nombre de niveaux inadéquat, pauvre définition des niveaux) sur le premier paramètre choisi dans un graphe de risque. Les graphes de risque donnent en général plus de poids au premier paramètre choisi et peuvent masquer une discontinuité des niveaux de risque.
<ul style="list-style-type: none"> Configuration non standard 	Manque un paramètre pour estimer la probabilité d'occurrence du dommage parmi Ex, Pe et A.	Pas d'impact significatif relevé.	#114	N/A
<ul style="list-style-type: none"> Défauts autres que ceux répertoriés au tableau 1 	Matrice sensible au moindre changement de niveau d'un paramètre. Nombre de niveaux de risque élevé devant le nombre de combinaisons de paramètres possibles.	Amplification de la divergence pour le niveau de risque obtenu lors de la présence d'un défaut sur un des paramètres.	#24 #89	Porter une attention particulière à la présence d'un défaut (ex. : nombre de niveaux inadéquat, pauvre définition des niveaux) sur les deux paramètres de la matrice. Utiliser des regroupements de niveaux de risque appropriés pour atténuer les défauts dans les paramètres (ex. #114).
	Niveau de risque intitulé « 0 ».	Forte insatisfaction à l'égard du niveau de risque obtenu.	#69	Ne pas utiliser un niveau de risque intitulé « 0 ».
<ul style="list-style-type: none"> Famille d'outil inappropriée Non calibré pour les risques machines Nombre de niveaux de risque insuffisant 	Pas testé dans le cadre de cette étude.			

6. ANALYSE COMPARÉE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LE HSL

6.1.1 Contexte

Comme précisé à la sous-section 1.3, ce projet a été mené conjointement avec une équipe du Health and Safety Laboratory (HSL) du Royaume-Uni. L'objectif de cette collaboration était de partager l'expertise dans la définition de la méthodologie détaillée, incluant la préparation des outils de collecte de données, et dans l'analyse comparative des résultats obtenus.

Toutefois, les collectes de données elles-mêmes, nécessitant la participation d'utilisateurs issus de l'industrie, ont été réalisées indépendamment par l'équipe UQTR-PM-IRSST et par l'équipe du HSL. Compte tenu des contraintes propres au mode de fonctionnement du HSL, ses chercheurs ont conduit leur expérimentation d'une autre manière que celle utilisée par l'équipe UQTR-PM-IRSST, mais avec des éléments de base identiques (outils, scénarios).

L'équipe du HSL a donc conduit une expérimentation pour les outils #24 et #91 comparable à celle présentée dans les sections précédentes du présent rapport avec les scénarios G et M, sans toutefois comprendre de partie portant sur les paramètres individuels. Ainsi, à partir d'une expérimentation en ligne, le HSL a pu obtenir des résultats de 59 sujets pour ces deux scénarios.

D'autres approches de collecte de données ont également été mises en œuvre par cette équipe et des entrevues semi-dirigées visant à recueillir les commentaires et les impressions des sujets ont été réalisées avec 13 sujets. Il est important de noter que ces résultats comparatifs doivent être considérés avec une certaine prudence, puisque les outils et les scénarios utilisés par l'équipe du HSL étaient présentés dans leur version anglaise, alors que ceux utilisés par l'équipe UQTR-PM-IRSST étaient en français. Des différences d'interprétation peuvent avoir influencé certains des résultats obtenus de part et d'autre.

6.1.2 Résultats des expérimentations

Les résultats des expérimentations (administrées en ligne par l'équipe du HSL) pour les outils #24 et #91 avec les scénarios G et M ont été comparés aux résultats équivalents obtenus par l'équipe UQTR-PM-IRSST. Ces résultats sont résumés aux tableaux 49 et 50.

Tableau 49. Comparaison des niveaux de risque obtenus par l’équipe UQTR-PM-IRSST et par l’équipe HSL, pour l’outil #24.

Niveau de risque de l’outil #24	Scénario G		Scénario M	
	IRSST n = 25 (% des sujets)	HSL (en ligne) n = 59 (% des sujets)	IRSST n = 25 (% des sujets)	HSL (en ligne) n = 59 (% des sujets)
Négligeable	4	13	0	1
Bas	40	31	0	1
Moyen	48	34	24	31
Élevé	8	22	76	68

Tableau 50. Comparaison des niveaux de risque obtenus par l’équipe UQTR-PM-IRSST et par l’équipe HSL, pour l’outil #91.

Niveau de risque de l’outil #91	Scénario G		Scénario M	
	IRSST n = 25 (% des sujets)	HSL (en ligne) n = 59 (% des sujets)	IRSST n = 25 (% des sujets)	HSL (en ligne) n = 59 (% des sujets)
1 et 2	68	70	56	49
3 et 4	28	10	40	43
5 et 6	4	20	4	8

Cette analyse montre que les niveaux de risque obtenus par les différents groupes de sujets sont généralement semblables quant à leur pourcentage modal. On note cependant certaines différences dans la distribution pour le scénario G avec l’outil #24. Néanmoins, ces résultats suggèrent que les tendances quant à la dispersion des résultats des outils d’estimation des risques ne sont pas influencées par la provenance des sujets.

6.1.3 Résultats quant à la perception des sujets

Les données recueillies par l’équipe du HSL quant à la perception des sujets à l’égard de l’utilisation de ces outils d’estimation du risque ont été comparées aux données similaires recueillies par l’équipe UQTR-PM-IRSST.

En ce qui a trait à la perception des sujets sur le niveau de risque obtenu par ces outils, les résultats présentent des tendances comparables. Comme ce qui a été observé par l’équipe UQTR-PM-IRSST, le nombre de sujets en désaccord avec les résultats de l’outil #91 est élevé, la majorité des sujets interviewés par l’équipe du HSL considérant qu’il sous-estime le risque dans la majorité des cas. Pour l’outil #24, les sujets de part et d’autre considèrent que les résultats sont généralement satisfaisants.

Lors des entrevues semi-dirigées réalisées par l’équipe du HSL, les sujets ont identifié et reconnu l’impact de certains défauts présents dans les paramètres d’estimation du risque. Comme l’ont montré les analyses présentées précédemment, les outils #24 et #91 (voir les sous-sections 5.2.2

et 5.2.5) présentent effectivement ces défauts dans certains de leurs paramètres. Les observations notées par l'équipe du HSL sont résumées ci-dessous :

- *Pauvre définition des niveaux et incohérence des définitions utilisées* : Un commentaire récurrent des sujets était à l'effet que la terminologie utilisée dans certains paramètres rendait les choix difficiles. Dans certains cas, ces problèmes de définition entraînaient des chevauchements entre les niveaux qui ont été identifiés par les participants.
- *Nombre de niveaux inadéquat et écart entre les niveaux* : Des sujets ont commenté le fait que pour certains paramètres, le nombre réduit de niveaux rendait le choix simple mais inconfortable. Ils ont également observé qu'il y avait parfois des écarts importants entre deux niveaux d'un paramètre (« *big jump* »). Le paramètre « gravité du dommage » de l'outil #91, avec seulement deux niveaux, a été particulièrement cité en exemple. Les sujets ont largement manifesté leur désir que tous les paramètres aient plus de deux niveaux.

Les sujets interviewés ont également fait mention d'autres préoccupations par rapport à la construction des outils :

- Les sujets ont été surpris de constater que l'outil #24, une matrice à deux paramètres, permettait d'obtenir des résultats comparables à ceux de l'outil #91, qui utilise quatre paramètres. Ils ont cependant questionné la crédibilité apparente des outils à deux paramètres. En effet, selon certains sujets, un outil à deux paramètres peut paraître trop simple et moins crédible qu'un outil à plusieurs paramètres. Par contre, les sujets ont tout de même indiqué leur préférence pour un outil visuellement plus simple.
- Le paramètre « possibilité d'évitement (A) » a été identifié par certains sujets comme non nécessaire dans l'estimation du risque.
- Les paramètres de probabilité ont été ceux qui ont causé le plus de difficultés aux sujets dans l'estimation du risque.
- Les sujets ont indiqué avoir une préférence pour les paramètres dont les niveaux fournissent des exemples aidant à la définition, comme ceux pour la gravité du dommage avec l'outil #91 (G1 - Lésion légère, normalement réversible; p. ex. : écorchure, lacération, bleu, blessure légère qui nécessite des premiers soins, etc.).
- Les sujets ont indiqué que, lorsqu'un niveau fait référence à des données historiques, l'outil était moins facile d'utilisation, comme c'est le cas pour la probabilité d'occurrence du dommage avec l'outil #91 (O2 - Faible : événement relié à une défaillance technique de probabilité supérieure ou égale à $10E-5$ bris/heure [1 bris/100 000 heures]).
- Comme dans le cas des résultats obtenus par l'équipe UQTR-PM-IRSST, les sujets interviewés par le HSL n'ont pas relevé le défaut « absence d'intervalle d'exposition », pourtant présent dans les deux outils testés.

6.1.4 Conclusion de l'analyse comparée

Bien que l'étendue des résultats et certains aspects méthodologiques diffèrent entre les études menées par les deux équipes, il semble se dégager certaines tendances communes dans les résultats obtenus. Les expérimentations montrent des tendances similaires sur le plan de la dispersion des résultats en présence de défauts et du niveau d'accord des sujets avec le niveau de risque obtenu. De plus, dans les deux cas, les sujets ont été en mesure d'identifier les défauts présents dans les paramètres et de faire état de leur impact sur la difficulté à choisir le niveau correspondant à une situation donnée et sur la performance des outils d'estimation du risque.

7. CONCLUSION

De par sa nature même, cette étude ne pouvait être fondée sur une méthodologie totalement étanche. De nombreuses variables difficilement contrôlables ont pu influencer certains des résultats présentés ici. L'objectif de l'étude était d'observer le comportement des outils et des paramètres affectés de défauts lorsqu'utilisés par des personnes, sans nécessairement tenter d'évaluer le processus cognitif mis en œuvre par ces personnes. Il convient toutefois de reconnaître que les aspects cognitifs ont une influence sur le processus d'estimation et que la présente étude n'a pu les mettre en évidence ou les contrôler totalement. Il s'agit là d'une des limites de cette étude.

Néanmoins, et dans les limites de ces considérations méthodologiques, cette étude permet de mieux comprendre l'impact sur le niveau de risque de la présence de défauts dans les paramètres et dans l'architecture des outils d'estimation du risque utilisés en sécurité des machines. Les résultats montrent que ces défauts peuvent se traduire par une faible convergence des niveaux de risque obtenus par plusieurs sujets, pour une même situation dangereuse, et par une insatisfaction des sujets quant à la performance et à la justesse de ces outils. Dans la majorité des cas, les sujets sont en mesure de reconnaître un défaut lorsque celui-ci augmente la difficulté à choisir le niveau correspondant à une situation donnée. Ces observations ont également été confirmées par l'étude menée par l'équipe du HSL.

Les résultats montrent aussi que l'impact des défauts de construction des paramètres n'est pas uniforme. La nature du défaut, sa position dans l'échelle du paramètre et le scénario en présence influencent cet impact sur l'établissement du niveau d'un paramètre. De plus, le paramètre « gravité du dommage » est relativement robuste face aux différents défauts, mais les paramètres « probabilité d'occurrence du dommage » et « probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux » sont nettement plus affectés. Outre la présence de défauts dans ces deux derniers paramètres, les résultats suggèrent que l'évaluation de la probabilité est un aspect problématique de l'estimation du risque et qu'une attention particulière doit y être accordée.

Concernant l'architecture des outils, les résultats montrent qu'une architecture qui donne plus d'influence à un paramètre peut amplifier une divergence des résultats et diminuer la capacité à classer convenablement les scénarios. Cet effet est aussi amplifié lorsque le paramètre en question est lui-même affecté par un défaut. Une matrice sensible au moindre changement de niveau d'un paramètre aura le même impact en présence d'un défaut sur un de ses paramètres. Une architecture, qui ne conduit pas à une distribution uniforme des niveaux de risque, mène à des problèmes de discrimination des scénarios et à des insatisfactions des sujets quant aux résultats obtenus (Chinniah et al., 2015).

Ces résultats expérimentaux viennent renforcer le bien-fondé de plusieurs des règles de construction mises de l'avant dans l'étude précédente (Chinniah et al., 2011). Ces règles permettront de réduire sensiblement la subjectivité dans l'estimation du risque et de s'attaquer à certains des problèmes liés à la variabilité significative des niveaux de risque estimés. Les résultats obtenus pourront donc contribuer à l'amélioration de la robustesse et de la fiabilité des outils existants et à appuyer la formation offerte actuellement par les partenaires en matière d'appréciation du risque.

Aussi, de manière à transférer les résultats de cette étude vers les utilisateurs d'outils d'estimation du risque en sécurité des machines, la prochaine étape serait de rédiger un guide d'autodiagnostic, présentant de manière simple, mais concrète, les défauts dans les paramètres et dans l'architecture des outils, les règles de construction à respecter et des exemples de bonnes et de moins bonnes formulations. Ce guide permettrait à terme d'aider les intervenants concernés dans le choix ou dans la bonification de leur outil d'estimation du risque.

BIBLIOGRAPHIE

- 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, 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*.
- Aven, T. (2012). « Foundational Issues in Risk Assessment and Risk Management ». *Risk Analysis*, 32, 1647-1656.
- Beyth-Marom, R. (1982). « How Probable is Probable? A Numerical Translation of Verbal Probability Expressions », *Journal of Forecasting*, Vol. 1, No. 3, pp. 257 - 269.
- Carey, J.M. et Burgman, M.A. (2008). « Linguistic Uncertainty in Qualitative Risk Analysis and How to Minimize It ». *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1128, (1) 13-17.
- 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.
- Chinniah, Y., Gauthier, F., Lambert, S. et Moulet, F. (2011). *Experimental Analysis of Tools Used for Estimating Risk Associated with Industrial Machines*, Rapport de recherche R-684, IRSST, 77 p.
- Chinniah, Y., Gauthier, F., Burlet-Vienney, D. et Aucourt, B. (2015) *Analysis of two risk estimation tools applied to safety of machinery*, International conference – Safety of Automated Industrial Systems, Bonn, Germany, November 2015.
- Christensen, F.M., Anderson, O., Duijm, N.S. et Harremoes, P. (2003). « Risk Terminology - a platform for common understanding and better communication ». *Journal of Hazardous Materials*, 103, (3) 181-203.
- Compagnie A (2002). *Identification des dangers et risques en Santé/Sécurité*, Document interne.
- Compagnie P (2003). *Risk assessment and risk reduction*, Document interne.
- Compagnie R (2004). *Évaluation des risque - Partie 2: Évaluation des mesures de réduction des risques*, Document interne.
- Compagnie X (1997). *Tableau d'analyse de risque* (sans titre), Document interne.
- Cox, L.A. (2008) « What's wrong with Risk Matrices? », *Risk Analysis*, Vol. 28, No. 2, pp. 497-512.
- CSA-Q634-91 (1991). *Risk Analysis Requirements and Guidelines*, Canadian Standard Association.

- CSST (2002). *Sécurité des machines, Phénomènes dangereux, situations dangereuses, évènements dangereux, dommages*, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, DC 900-337 (07-02), 15 p.
- Duijm, N.J. (2015). « Recommendations on the use and design of risk matrices », *Safety Science*, Vol. 76, No. 7, pp. 21-31. DOI:10.1016/j.ssci.2015.02.014
- Ekelenburg, V.H.P., Hoogerkamp, P., Hopmans, L.J. (1996) *A practical Guide to the Machinery Directive* (Traduit du hollandais par D. Brown), Mechanical Engineering Publications Ltd.
- Etherton, J. (2007). « Industrial Machine Systems Risk Assessment: A Critical Review of Concepts and Methods », *Risk Analysis*, Vol. 27, No. 1, pp. 71-82.
- Etherton, J., Main, B., Cloutier, D., Christensen, W. (2008). « Reducing Risk on machinery: A Field Evaluation Pilot Study of Risk Assessment », *Risk Analysis*, Vol. 28, No. 3, pp. 711-721.
- Franceschini, F., Galetto, M., Varetto, M. (2004) « Qualitative Ordinal Scales: The Concept of Ordinal Range », *Quality Engineering*, Vol. 16, No. 4 pp. 515-524.
- Gauthier, F., Chinniah, Y., Lambert, S. (2012) « Analysis and Classification of the Tools for Assessing the Risks Associated with Industrial Machines », *Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 18, No. 2, 245–265.
- Gauthier, F., Moulet, F., Chinniah, Y., Stacey, N., Healy, N. (2010) *A Comparative Analysis of Risk Estimation Tools for Industrial Machines*, International conference – Safety of Automated Industrial Systems, Tampere Finland, June 2010.
- Gondar Design (2000) *Risk assessments*, <http://www.purchon.co.uk/safety/risk.html>, 5 p.
- Görnemann, O. (2003). *SICK AG Scalable Risk Analysis & Estimation Method (SCRAM)*, ISO/TC199 WG 5 N 0049, 12 p.
- HSL (2012) *How to complete a methodical risk estimation*, Health and Safety Laboratory.
- Hubbard, D., Evans, D. (2010) « Problems with scoring methods and ordinal scales in risk assessment », *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 54, No. 3.
- Hughes, P. et Ferrett, E. (2005). *Introduction to Health and Safety at Work*, 2nd Edition, 2nd ed. Oxford, Elsevier Butterworth-Heinemann.
- IEC 62278 (2001). *Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, availability, Maintainability and safety (RAMS)*, International Electrotechnical Committee.
- ISO 12100 (2010). *Safety of machinery -- General principles for design -- Risk assessment and risk reduction*, 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.

- Kazer, B.M. (1993). « Risk Assessment: A Practical Guide », *The Health and Safety Practitioner*, Institution of Occupational Safety and Health.
- Lamy, P., Charpentier, P. (2009). « Estimation des risques – Recensement des méthodes et subjectivité des paramètres de l'estimation », INRS, *Hygiène et sécurité du travail*, ND 2305-214-09, pp37-44.
- Lyon, B. et Hollcroft, B. (2012). « Risk Assessments top 10 pitfalls and tips for improvement ». *Professional Safety*, 57, (12) 28-34.
- Main, B.W. (2012). *Risk Assessment Challenges and Opportunities*, Ann Arbor, USA, Design Safety Engineering inc.
- Main, B.W. (2004). *Risk Assessment: Basics and benchmarks*, Design Safety Engineering Inc., 485 p.
- MIL-STD-882D (2000). *Standard Practice for System Safety (Appendix A)*, US Department of Defense.
- Mosteller, F. et Youtz, C. (1990). « Quantifying probability expressions ». *Stat Sci* (5) 2-12.
- Ni, H., Chen, A., Chen, N. (2010). « Some Extensions on Risk Matrix Approach », *Safety Science*, Vol. 48, pp. 1269-1278.
- Paques, J.-J. (2005). *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, Chicago, Illinois, USA
- Paques, J.-J. et 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. et 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.
- Paques, J.-J., Bourbonnière, R., Daigle, R., Doucet, P., Masson, P., Micheau, P., Lane, J. et Tardif, J. (2005a). *Transfert de compétences en formation sur la gestion de la sécurité des machines et les moyens de protection*. IRSST, Rapport de recherche R-394, 105 p.
- Paques, J.-J., Gauthier, F., Perez, A., Charpentier, P., Lamy, P. et David, R. (2005b). *Bilan raisonné des outils d'appréciation des risques associés aux machines industrielles*, IRSST, Rapport R-459, 64 p.
- Paques, J.-J., Perez, A., Lamy, P., Gauthier, F., Charpentier, P. et 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, Chicago, Illinois, USA.
- 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.

- Patt, G.A. et Schrag, D.P. (2003). « Using specific language to describe risk and probability ». *Climatic Change*, 61, (1-2) 17-30.
- Pickering, A. et Cowley, S.P. (2010). « Risk Matrices: Implied accuracy and false assumptions ». *Journal of health and safety research and practice*, 2, (1) en ligne.
- Raafat, H. (1995). *Machinery Safety: The Risk Based Approach*, Technical Communication Publishing Ltd., 70 p.
- Ruge, B. (2004). *BASF Risk Matrix as Tool for Risk Assessment in the Chemical Process Industries*, BASF.
- Smith, E.D., Siefert, W.T., Drain, D. (2009). « Risk Matrix Input Data Biases », *Systems Engineering*, Vol. 12, No. 4, pp. 344-359.
- Stevens, S.S. (1946). « On the theory of scales of measurement ». *Science*, Vol. 103, No. 2684, pp. 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.
- Theil, M. (2002). « The role of translations of verbal into numerical probability expressions in risk management: a meta-analysis ». *Journal of Risk Research*, 5, 177-185
- Willquist, P. et Torner, M. (2003). « Identifying and analysing hazards in manufacturing industry – a review of selected methods and development of a framework for method applicability ». *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32, 165-180.
- Woodruff, J.M. (2005). « Consequence and likelihood in risk estimation: A matter of balance in UK health and safety risk assessment practice ». *Science Direct* 345-353.

ANNEXE A : SCÉNARIOS UTILISÉS LORS DE L'EXPÉRIMENTATION

Tableau 51. Scénario A.


<p>Poinçonneuse avec table mobile</p>	
<p>Activité</p>	<p>Démonstration fonctionnelle d'une machine de poinçonnage lors d'une exposition commerciale. La machine à poinçonner est en mode automatique et perce des trous dans une feuille de métal, qui est placée sur une table mobile et se déplace de façon imprévisible dans les directions indiquées par les flèches.</p>
<p>Phénomène dangereux</p>	<p>Mouvement de la table mobile.</p>
<p>Situation dangereuse</p>	<p>Un visiteur de l'exposition commerciale se trouve près de la table mobile (mouvements possibles sur deux axes) comme le montre la photo.</p>
<p>Évènement dangereux</p>	<p>Un visiteur est frappé par la table quand il entre dans la trajectoire de déplacement.</p>
<p>Probabilité de l'évènement dangereux</p>	<p>Les tapis sensibles à la pression sur le sol ne protègent pas complètement la zone dangereuse (par exemple, lorsqu'un visiteur est susceptible de se tenir comme indiqué sur la photo).</p>
<p>Dommage possible</p>	<p>Ecchymoses, coupures</p>
<p>Exposition</p>	<p>Un visiteur reste dans le stand en moyenne 5 minutes. La table mobile de la poinçonneuse se déplace 50 % du temps. Un visiteur est présent dans le stand en moyenne 20 % du temps d'une journée d'exposition qui dure 10 heures.</p>
<p>Possibilité d'évitement</p>	<p>Les visiteurs ne sont pas mis en garde contre les dangers et n'ont aucune connaissance préalable de la machine. La table mobile se déplace jusqu'à une vitesse de 1 m/s. Les mouvements imminents ou en cours sont indiqués par un avertisseur lumineux.</p>

Tableau 52. Scénario G.


<p>Véhicule autoguidé ou à guidage automatique (VGA)</p>	
<p>Activité</p>	<p>Un véhicule autoguidé (sans conducteur) se déplace à travers l’usine en suivant le tracé (la voie de circulation) peint en jaune sur le sol (trajectoire prédéterminée).</p>
<p>Phénomène dangereux</p>	<p>Mouvement du véhicule autoguidé dans la direction de la flèche.</p>
<p>Situation dangereuse</p>	<p>Le véhicule autoguidé opère dans la même zone que des travailleurs.</p>
<p>Évènement dangereux</p>	<p>Un travailleur est frappé par le véhicule autoguidé.</p>
<p>Probabilité de l’évènement dangereux</p>	<p>Un tel accident s’est déjà produit et, depuis, les travailleurs ont été informés de la trajectoire prédéterminée du véhicule autoguidé (plan de circulation) dans leur zone de travail. Aucune barrière n’empêche les travailleurs d’entrer dans la trajectoire du véhicule.</p>
<p>Dommages possibles</p>	<p>Contusion, fracture simple.</p>
<p>Exposition</p>	<p>En moyenne, la voie de circulation du véhicule autoguidé est traversée 25 fois par les travailleurs pendant chaque quart de travail de 8 heures. Il faut 3 secondes à un travailleur pour franchir complètement la voie de circulation du véhicule. Le véhicule autoguidé fonctionne en continu pendant les heures de travail.</p>
<p>Possibilité d’évitement</p>	<p>Le véhicule autoguidé circule à la vitesse de 10 km/h et possède une barre sensible à la pression (barre antichoc encerclée sur la photo) qui arrête le véhicule lorsqu’il est heurté. Le véhicule autoguidé possède un avertisseur sonore (bip) et un avertisseur visuel (gyrophare orange). Le marquage en jaune indique la trajectoire prédéterminée (voie de circulation) du véhicule autoguidé.</p>

Tableau 53. Scénario M.



<p>Bobineuse (machine à papier)</p>	
<p>Activité</p>	<p>Enlever les parties irrégulières du rouleau qui peuvent causer des problèmes techniques lors de son utilisation (par exemple dans les presses à imprimer). L'enrouleur est sous-tension en mode manuel.</p>
<p>Phénomène dangereux</p>	<p>Angles rentrants (entraînement par le rouleau).</p>
<p>Situation dangereuse</p>	<p>Les mains des deux travailleurs sont à proximité des angles rentrants.</p>
<p>Évènement dangereux</p>	<p>Démarrage intempestif du rouleau à la suite d'une mauvaise communication entre les travailleurs à proximité du rouleau et la personne qui commande le mouvement du rouleau.</p>
<p>Probabilité de l'évènement dangereux</p>	<p>Les travailleurs communiquent oralement. Ils sont à 5 m de distance. L'atelier est relativement calme.</p>
<p>Dommage possible</p>	<p>Amputation partielle ou complète des membres supérieurs.</p>
<p>Exposition</p>	<p>À chaque installation de nouveau rouleau c'est-à-dire 1 fois par deux jours. Chaque opération dure environ 15 minutes.</p>
<p>Possibilité d'évitement</p>	<p>La vitesse du rouleau est réduite et son mouvement ne s'effectue que par l'action maintenue de la commande. L'arrêt du mouvement du rouleau est instantané.</p>

Tableau 54. Scénario S.

<p>Robot</p>	
<p>Activité</p>	<p>Changement d'outil par un travailleur sur un tour à commande numérique utilisé pour usiner les pièces en métal. Un robot alimente le tour en pièces métalliques à usiner et les enlève par la suite quand elles sont usinées.</p>
<p>Phénomène dangereux</p>	<p>Mouvement du robot vers le travailleur.</p>
<p>Situation dangereuse</p>	<p>Le travailleur est situé dans la trajectoire du robot. Le robot est alimenté en énergie et demeure en position d'attente (<i>stand-by</i>).</p>
<p>Évènement dangereux</p>	<p>Le travailleur est frappé par le robot. Le robot reçoit une commande de démarrage causée par une défaillance de l'automate programmable (PLC) qui le commande.</p>
<p>Probabilité de l'évènement dangereux</p>	<p>Le robot est commandé par un automate programmable standard (PLC) et non par un automate programmable dédié à la sécurité (Safety PLC).</p>
<p>Dommage possible</p>	<p>Fractures multiples, commotion cérébrale, décès.</p>
<p>Exposition</p>	<p>Intervention de 10 minutes, 2 fois par quart de 8 heures de travail.</p>
<p>Possibilité d'évitement</p>	<p>Le travailleur fait dos au robot et il porte un protecteur auditif. L'extrémité du robot se déplace très rapidement à environ 2 m/s. Le robot possède un avertisseur visuel et sonore. Pas de défaillance antérieure ou de passé proche répertorié.</p>

ANNEXE B : PARAMÈTRES TESTÉS LORS DE L'EXPÉRIMENTATION

Tableau 55. Paramètres testés lors de l'expérimentation et type de défaut associé.

Outil	Définition du paramètre	Défaut	Référence
Gravité du dommage (S)			
#33	<ul style="list-style-type: none"> – Blessure ou maladie modérée; – Blessure ou maladie grave; – Décès, blessure ou maladie très grave. 	Pauvre définition des niveaux	Main (2004) p. 155-157
#55	<ul style="list-style-type: none"> – 4) Négligeable : moins qu'une blessure ou maladie professionnelle mineure – 3) Marginal : blessure ou maladie professionnelle mineure; – 2) Critique : blessure ou maladie professionnelle grave; – 1) Catastrophique : décès 	Pauvre définition des niveaux	Entreprise X (1997)
#66	<ul style="list-style-type: none"> – 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 : plusieurs décès et/ou blessures graves multiples et/ou dommages majeurs à l'environnement 	Définitions incohérentes des différents niveaux	IEC 62278 (2001)
#69	<ul style="list-style-type: none"> – Sans dommage; – Faible : dommage minimal sans conséquence permanente; – Moyenne : dommage grave sans conséquence permanente; – Élevée : dommage grave avec conséquence permanente, décès. 	Sans défaut	Görnemann (2003)
#91	<ul style="list-style-type: none"> – S1 blessure légère (normalement réversible); p. ex. : écorchure, laceration, bleu, ou coupure légère qui nécessite des premiers soins, etc. – S2 blessure grave (normalement irréversible, y compris le décès); p. ex. : membre brisé ou arraché; blessure grave avec points de suture, décès, etc. 	Nombre de niveaux inadéquat	ISO 14121-2:2007
#102	<ul style="list-style-type: none"> – 1- Mineure : conséquences de peu de gravité; – 2- Importante : le travail doit être interrompu et des premiers soins s'imposent; – 3- Désastreuse : accident très grave (une personne a été blessée pour la vie, rendue aveugle ou même tuée). 	Écart entre les niveaux	Gondar (2000)
Probabilité d'occurrence du dommage (Ph)			
#6	<ul style="list-style-type: none"> – Improbable – Probabilité pratiquement nulle; – Négligeable – Peu probable, mais concevable; – Possible – Pourrait survenir; – Probable – Prévisible, surviendra plusieurs fois; – (Très) probable/Fréquent – Surviendra de façon répétée/ Évènement quasi inévitable. 	Définitions incohérentes des différents niveaux	Kazer, BM. (1993)

Outil	Définition du paramètre	Défaut	Référence
#7	<ul style="list-style-type: none"> – Négligeable – Improbable – Possible – Probable – (Très) Probable 	Pauvre définition des niveaux	Raafat, H. (1995)
#34	<ul style="list-style-type: none"> – Faible - Ne survient jamais ou que très rarement; – Moyenne – Probabilité raisonnable d'occurrence; – Élevée – Occurrence certaine ou quasi certaine. 	Écart entre les niveaux	Main (2004) p. 164-165
#41	<ul style="list-style-type: none"> – F- Hautement improbable – Probabilité pratiquement nulle; – E- Improbable –Très peu de risques 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. 	Sans défaut	ISO/TS 14798 (2006)
#89	<ul style="list-style-type: none"> – 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. 	Aucune définition de l'intervalle d'exposition	The Metal Manufacturing and Minerals Processing Industry Committee (2002)
Fréquence d'exposition (Exf)			
#49	<ul style="list-style-type: none"> – 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). 	Écart entre les niveaux	ANSI/RIA R15.06 (1999)
#67	<ul style="list-style-type: none"> – 1 L'intervalle entre les expositions est supérieur à un an; – 2 L'intervalle entre les expositions est supérieur à deux semaines et inférieur ou égal à un an; – 3 L'intervalle entre les expositions est supérieur à un jour et inférieur ou égal à deux semaines; – 4 L'intervalle entre les expositions est supérieur à une heure et inférieur ou égal à un jour. Lorsque la durée est inférieure à 10 min, les valeurs ci-dessus peuvent être réduites au niveau suivant; – 5 L'intervalle entre les expositions est inférieur ou égal à une heure. Cette valeur ne doit être réduite à aucun moment. 	Sans défaut	ISO 14121-2:2007
Durée d'exposition (Exd)			
#19	<ul style="list-style-type: none"> – Rare à assez fréquente – Fréquente à continue 	Pauvre définition des niveaux	Ekelenburg et al. (1996)

Outil	Définition du paramètre	Défaut	Référence
#62	<ul style="list-style-type: none"> – 1. 2 h/semaine; 1 jour/mois – 2. 4 h/semaine; ½ jour/semaine – 3. 8 h/semaine; 1 jour/semaine – 4. 20 h/semaine; mi-temps – 5. 40 h/semaine; temps complet 	Écart entre les niveaux	SUVA (2002)
#91	<ul style="list-style-type: none"> – F1 Rare à assez fréquente et/ou courte durée d'exposition – F2 Fréquente à continue et/ou longue durée d'exposition 	Sans défaut	ISO 14121-2:2007
Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux (Pe)			
#19	<ul style="list-style-type: none"> – 1. Faible - si peu probable qu'on peut présumer que l'occurrence ne se produira jamais; – 2. Moyenne - occurrence vraisemblable durant le cycle de vie d'un élément; – 3. Élevée - probabilité d'occurrence fréquente. 	Sans défaut	Ekelenburg et al. (1996)
#62	<ul style="list-style-type: none"> – P0=1 : évènement difficilement imaginable (mesures conformes à l'état de la technique); – P0=2 : évènement imaginable, mais inhabituel (mesures prises); – P0=3 : l'évènement est possible (mesures partiellement prises, des insuffisances évidentes); – P0=4 : on peut s'attendre à ce que l'évènement se produise (il y a un début de mesures); – P0=5 : il faut s'attendre à ce que l'évènement se produise (pas de mesures existantes). 	Définitions incohérentes des différents niveaux	SUVA (2002)
Possibilité d'évitement (A)			
#57	<ul style="list-style-type: none"> – 1. Évident – 2. Probable – 3. Possible – 4. Rare – 5. Impossible 	Pauvre définition des niveaux	Entreprise P (2003)
#114	<ul style="list-style-type: none"> – 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 leur 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. 	Sans défaut	HSL (2012)

ANNEXE C : OUTILS D'ESTIMATION DU RISQUE ÉTUDIÉS

Dans cette annexe sont présentées les architectures des outils dans leur forme originale. Le texte des outils tel que traduit et présenté aux sujets lors des expérimentations se trouve en Annexe D.

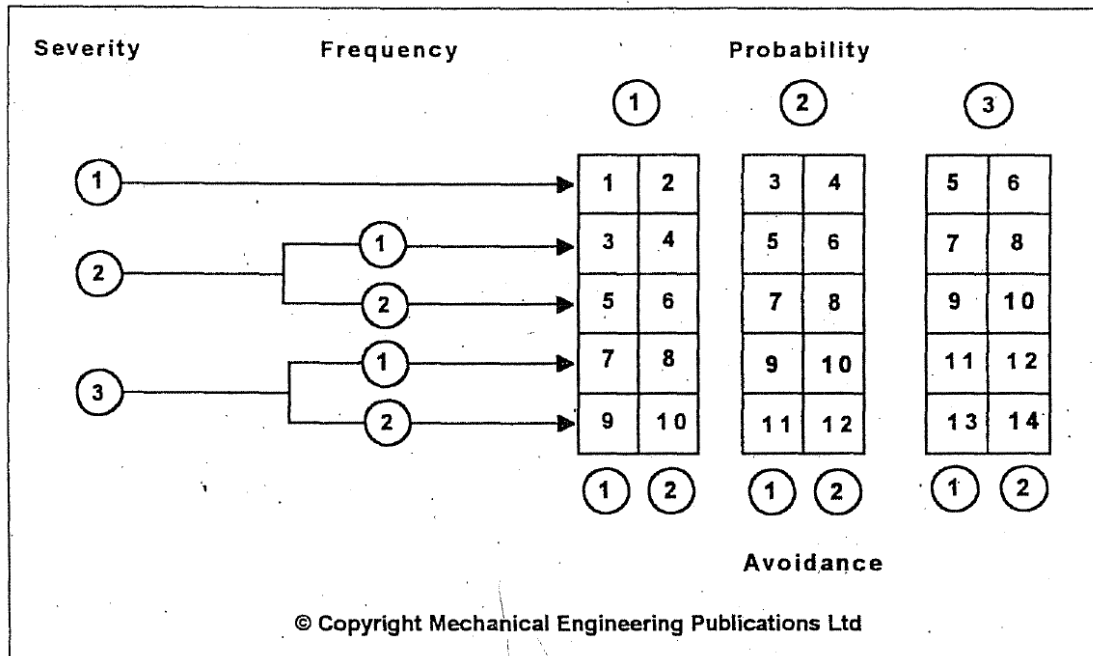


Figure 6 - Graphe de risque de l'outil #19 (Source : Ekelenburg et al., 1996).

Probability of Occurrence of Harm	Severity of Harm			
	Catastrophic	Serious	Moderate	Minor
Very Likely	High	High	High	Medium
Likely	High	High	Medium	Low
Unlikely	Medium	Medium	Low	Negligible
Remote	Low	Low	Negligible	Negligible

Figure 7 - Matrice de risque de l'outil #24 (Source : ANSI B11.TR3, 2000).

	Severity of Harm *	Exposure to Harm *	Harm avoidance *	Probability of Occurrence *		
				Low	Middle	High
S T A R T	No Harm **	-	-	0	0	0
	Low	-	Avoidable	0	0	1
			Not avoidable	0	1	2
	Middle	Low	Avoidable	1	2	3
			Not avoidable	2	3	4
		High	Avoidable	3	4	5
			Not avoidable	4	5	6
	High	Low	Avoidable	5	6	7
			Not avoidable	6	7	8
		High	Avoidable	7	8	9
Not avoidable			8	9	10	
				Resulting Risk Level		

Figure 8 - Graphe de risque de l'outil #69 (Source : Görnemann, 2003).

PROBABILITY	CONSEQUENCE: How severely could it hurt someone?		
	CATASTROPHIC kills, disables permanent injury	MAJOR significant injury, NOT permanent	MINOR first aid only, no lost time
How likely COULD it happen			
VERY LIKELY could happen	1	2	3
LIKELY could happen occasionally	2	3	4
UNLIKELY could happen but rare	3	4	5
VERY UNLIKELY could happen, probably never will	4	5	6

Figure 9 - Matrice de risque de l'outil #89 (Source : The Metal Manufacturing and Minerals Processing Industry Committee, 2002).

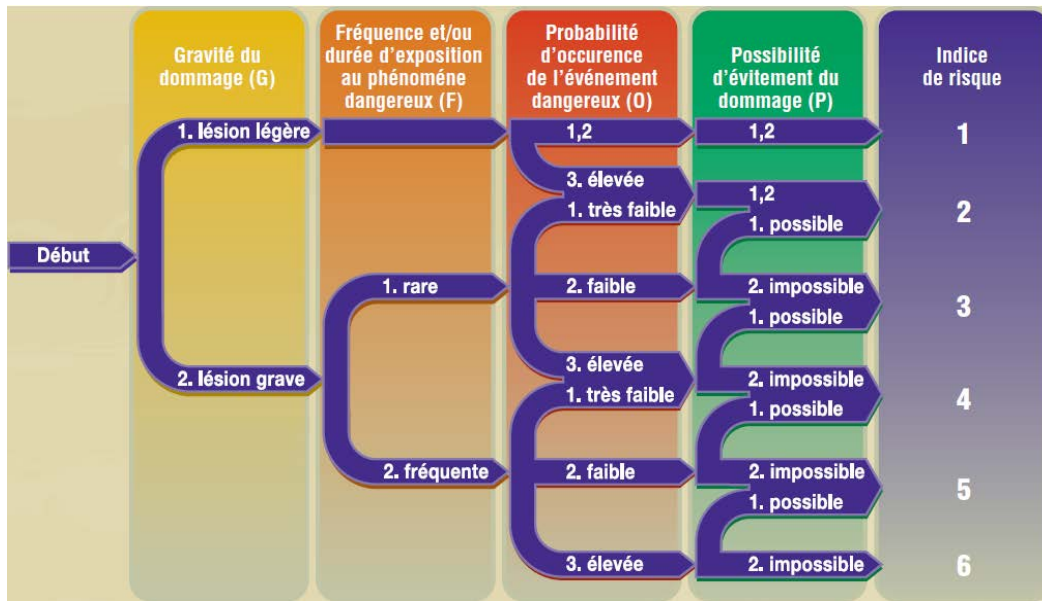


Figure 10 - Graphe de risque de l'outil #91 (Source : CSST, 2002).

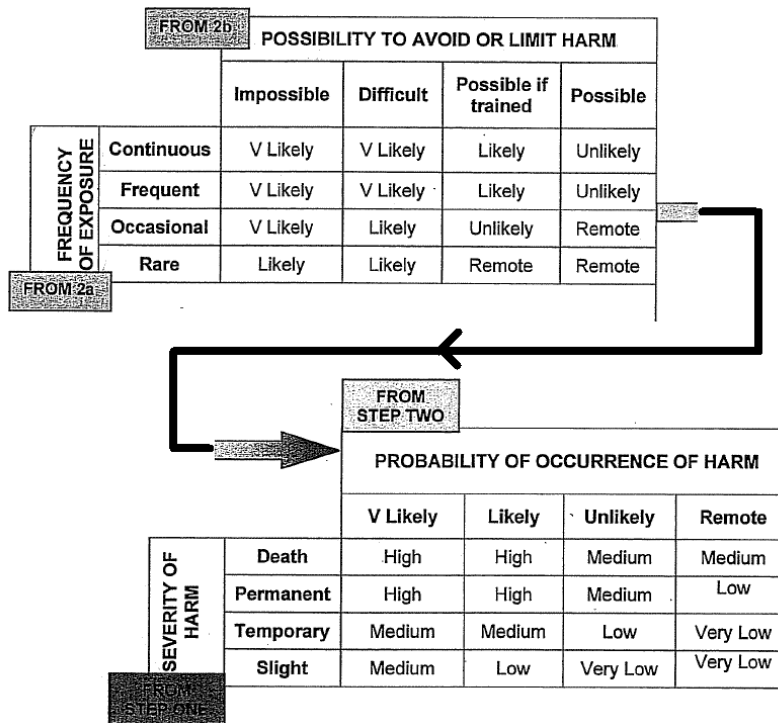


Figure 11 - Matrices de risque de l'outil #114 (Source : HSL, 2012).

ANNEXE D : QUESTIONNAIRE POUR LE TEST DES OUTILS D'ESTIMATION DU RISQUE

Section 1 / 2: Estimation du risque

Cet outil d'estimation du risque comporte 4 paramètres. Veuillez estimer le niveau de risque pour le scénario indiqué ci-haut en sélectionnant les niveaux appropriés pour ces différents paramètres.

1.1- Outil #19: Gravité (du dommage possible)

- 1. Légère (normalement réversible) blessure ou atteinte à la santé
- 2. Grave (normalement irréversible) blessure ou atteinte à la santé
- 3. Décès

1.2- Outil #19: Fréquence et durée d'exposition des personnes au phénomène dangereux

- 1. Rare à assez fréquente
- 2. Fréquente à continue

1.3- Outil #19: Probabilité d'occurrence d'un événement pouvant causer un dommage

- 1. Faible - si peu probable qu'on peut présumer que l'occurrence ne se produira jamais
- 2. Moyenne - occurrence vraisemblable durant le cycle de vie d'un élément
- 3. Élevée - probabilité d'occurrence fréquente

1.4- Outil #19: Évitement - Possibilités techniques ou humaines d'éviter ou de limiter le dommage

- 1. Possible sous certaines conditions précises
- 2. Difficilement possible

Section 2 / 2: Opinion sur le niveau de risque estimé par cet outil

2.1- Niveau de risque obtenu par l'application de l'outil #19

- 1-4 Risque Faible (Low risk)
- 5-7 Risque Moyen (Medium risk)
- 8-10 Risque Élevé (High risk)
- 11-14 Risque Extrêmement élevé (Extremely high risk)

2.2- Le niveau de risque obtenu par l'application de cet outil reflète adéquatement l'information présentée dans ce scénario

- Tout à fait en accord
- Plutôt en accord
- Ni en accord ni en désaccord
- Plutôt en désaccord
- Tout à fait en désaccord

2.3- Expliquer votre réponse

Figure 12 - Questionnaire outil #19.

Section 1 / 2: Estimation du risque

Cet outil d'estimation du risque comporte 2 paramètres. Veuillez estimer le niveau de risque pour le scénario indiqué ci-haut en sélectionnant les niveaux appropriés pour ces différents paramètres.

1.1- Outil#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 gravement débilante (capacité de retour éventuel au travail)
- Catastrophique – décès, blessure ou maladie débilante de façon permanente (incapacité de retour au travail)

1.2- Outil#24 - Probabilité d'occurrence du dommage

- Négligeable – Probabilité pratiquement nulle
- Improbable – Faible risque d'occurrence
- Probable – Occurrence possible
- Très probable – Occurrence quasi certaine

Section 2 / 2: Opinion sur le niveau de risque estimé par cet outil

2.1- Niveau de risque obtenu par l'application de l'outil #24

- Négligible (Negligible)
- Bas (Low)
- Moyen (Medium)
- Élevé (High)

2.2- Le niveau de risque obtenu par l'application de cet outil reflète adéquatement l'information présentée dans ce scénario

- Tout à fait en accord
- Plutôt en accord
- Ni en accord ni en désaccord
- Plutôt en désaccord
- Tout à fait en désaccord

2.3- Expliquer votre réponse

Figure 13 - Questionnaire outil #24.

Section 1 / 2: Estimation du risque

Cet outil d'estimation du risque comporte 4 paramètres. Veuillez estimer le niveau de risque pour le scénario indiqué ci-haut en sélectionnant les niveaux appropriés pour ces différents paramètres.

1.1- Outil #69: Gravité du dommage

- Sans dommage
- Faible: dommage minimal sans conséquence permanente
- Moyenne : dommage grave sans conséquence permanente
- Élevée: dommage grave avec conséquences permanentes, décès.

1.2- Outil #69: Exposition au dommage

- Faible: exposition rare ou de très courte durée au dommage
- Élevée: exposition fréquente ou de durée courte à prolongée au dommage

1.3- Outil #69: Évitement du dommage

- Évitable: le dommage peut normalement être évité
- Inévitable: l'évitement du dommage est rarement possible, sinon impossible

1.4- Outil #69: Probabilité/plausibilité d'occurrence

- Faible: un dommage ne surviendra que très rarement
- Moyenne: un dommage est possible, mais pas nécessairement
- Élevée: un dommage résultera essentiellement d'une exposition

Section 2 / 2: Opinion sur le niveau de risque estimé par cet outil

2.1- Niveau de risque obtenu par l'application de l'outil #69

<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 10	

2.2- Le niveau de risque obtenu par l'application de cet outil reflète adéquatement l'information présentée dans ce scénario

- Tout à fait en accord
- Plutôt en accord
- Ni en accord ni en désaccord
- Plutôt en désaccord
- Tout à fait en désaccord

2.3- Expliquer votre réponse

Figure 14 - Questionnaire outil #69.

Section 1 / 2: Estimation du risque

Cet outil d'estimation du risque comporte 2 paramètres. Veuillez estimer le niveau de risque pour le scénario indiqué ci-haut en sélectionnant les niveaux appropriés pour ces différents paramètres.

1.1- Outil #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

1.2- Outil #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

Section 2 / 2: Opinion sur le niveau de risque estimé par cet outil

2.1- Niveau de risque obtenu par l'application de l'outil #89

- 1 - Des mesures immédiates sont requises pour contrôler ce risque
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6 - S'occuper d'abord des autres priorités

2.2- Le niveau de risque obtenu par l'application de cet outil reflète adéquatement l'information présentée dans ce scénario

- Tout à fait en accord
- Plutôt en accord
- Ni en accord ni en désaccord
- Plutôt en désaccord
- Tout à fait en désaccord

2.3- Expliquer votre réponse

Figure 15 - Questionnaire outil #89.

<p>Section 1 / 2: Estimation du risque</p> <p>Cet outil d'estimation du risque comporte 4 paramètres. Veuillez estimer le niveau de risque pour le scénario indiqué ci-haut en sélectionnant les niveaux appropriés pour ces différents paramètres.</p> <p>1.1- Outil#91 (CSST): Gravité du dommage: G</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> G1 Lésion légère (normalement réversible); par ex. écorchure, lacération, bleu, blessure légère qui nécessite des premiers soins, etc.<input type="checkbox"/> G2 Lésion grave (normalement irréversible, y compris le décès); par ex. membre brisé ou arraché, blessure grave avec points de suture, décès, etc. <p>1.2- Outil#91 (CSST): Fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux: F</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> F1 Rare à assez fréquente et/ou courte durée d'exposition<input type="checkbox"/> F2 Fréquente à continue et/ou longue durée d'exposition <p>1.3- Outil#91 (CSST): Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux: O</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> O1 Très faible : technologie stable, éprouvée et reconnue pour les applications de sécurité<input type="checkbox"/> O2 Faible : événement relié à une défaillance technique de probabilité supérieure ou égale à 10E-5 bris/heure (1 bris/100.000 heures) ; ou bien, événement entraîné par l'action d'une personne qualifiée, expérimentée, formée, effectuant une tâche unique, etc.<input type="checkbox"/> O3 Élevé : événement relié à une défaillance technique de probabilité supérieure ou égale à 10E-3 bris/heure (1 bris/1000 heures) ; ou bien, événement entraîné par l'action d'une personne sans expérience ou formation particulière. <p>1.4- Outil#91 (CSST): Possibilité d'évitement ou de réduction du dommage: P</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> P1 Possible dans certaines conditions<input type="checkbox"/> P2 Impossible ou rarement possible <p>Section 2 / 2: Opinion sur le niveau de risque estimé par cet outil</p> <p>2.1- Le niveau de risque obtenu par l'application de l'outil #91 (CSST)</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> 1 = Le plus faible<input type="checkbox"/> 2<input type="checkbox"/> 3<input type="checkbox"/> 4<input type="checkbox"/> 5<input type="checkbox"/> 6 = Le plus élevé <p>2.2- Le niveau de risque obtenu par l'application de cet outil reflète adéquatement l'information présentée dans ce scénario</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Tout à fait en accord<input type="checkbox"/> Plutôt en accord<input type="checkbox"/> Ni en accord ni en désaccord<input type="checkbox"/> Plutôt en désaccord<input type="checkbox"/> Tout à fait en désaccord <p>2.3- Expliquer votre réponse</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Figure 16 - Questionnaire outil #91.

Section 1 / 2: Estimation du risque

Cet outil d'estimation du risque comporte 3 paramètres. Veuillez estimer le niveau de risque pour le scénario indiqué ci-haut en sélectionnant les niveaux appropriés pour ces différents paramètres.

1.1- Outil#114 (HSL): 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

1.2- Outil#114 (HSL): 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

1.3- Outil#114 (HSL): 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

Section 2 / 2: Opinion sur le niveau de risque estimé par cet outil

2.1- Le niveau de risque obtenu par l'application de l'outil #114 (HSL)

- Très bas
- Bas
- Moyen
- Élevé

2.2- Le niveau de risque obtenu par l'application de cet outil reflète adéquatement l'information présentée dans ce scénario

- Tout à fait en accord
- Plutôt en accord
- Ni en accord ni en désaccord
- Plutôt en désaccord
- Tout à fait en désaccord

2.3- Expliquer votre réponse

Figure 17 - Questionnaire outil #114.

ANNEXE E : PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Toutes les expérimentations se sont déroulées selon les étapes générales suivantes :

1. Lire, expliquer et signer le formulaire de consentement et d'éthique.
2. Remplir le questionnaire d'identification du sujet.
3. Fournir une copie papier des 4 scénarios standardisés (Annexe A) en précisant que :
 - Chaque scénario porte sur un phénomène dangereux en particulier même si d'autres phénomènes dangereux peuvent être présents sur la photographie. La photographie est utilisée pour soutenir la description, mais pas pour fournir de l'information supplémentaire.
 - Toute information disponible et nécessaire à l'expérimentation est contenue dans la description du scénario. Le chercheur présent ne peut donner aucune information supplémentaire pour ne pas créer de biais par rapport aux autres sujets. Tous les sujets ont accès à la même information.
4. Mélanger les 2 grilles Excel© pour s'assurer que les tests se fassent dans un ordre aléatoire d'un sujet à l'autre afin de limiter les biais possibles.
5. Pour les 4 scénarios, appliquer les 6 outils en remplissant les 24 questionnaires en ligne prévus à cet effet (voir section ci-après)
6. Pour les 4 scénarios, appliquer les 20 paramètres, répartis selon les 6 types de paramètres, en remplissant les 24 questionnaires en ligne prévus à cet effet (voir section ci-après)
7. Remplir le questionnaire post-expérimentation permettant de vérifier si le sujet est familier avec l'un des scénarios ou des outils et recueillir ses impressions sur l'expérimentation.

L'application des 6 outils (en ordre aléatoire) sur les 4 scénarios est d'une durée moyenne de 2 h 15. Cette partie de l'expérimentation se déroulait comme suit :

1. Prendre connaissance du scénario dans la première colonne de la grille Excel© :
 - a. Demander au sujet d'expliquer le scénario afin de vérifier sa compréhension.
 - b. Au besoin, demander au sujet de relire certains passages de la description.
 - c. Le sujet place ensuite de façon intuitive une croix sur une ligne de 10 cm (échelle analogique) pour estimer le risque lié à ce scénario. Cette échelle, présentée sur une feuille à part, ne peut plus être consultée par la suite.
2. Remplir le questionnaire lié à l'outil sur la première ligne de la grille Excel© (Annexe D) :
 - a. Le sujet choisit le niveau approprié pour chaque paramètre constituant l'outil. Le chercheur ne peut fournir aucune information. Tant qu'il ne précise pas qu'il a fini, le sujet peut modifier ses choix.
 - b. Une fois ce travail terminé, le chercheur indique dans le questionnaire le niveau de risque obtenu avec les choix effectués par le sujet.

- c. Le sujet est ensuite invité à donner sa satisfaction sur le résultat obtenu (c.-à-d. 1. Tout à fait en accord, 2. Plutôt en accord, 3. Ni en accord ni en désaccord, 4. Plutôt en désaccord, 5. Tout à fait en désaccord) et à justifier son opinion.
 - d. Le chercheur sauvegarde le questionnaire et le ferme.
3. Procéder de même avec les autres outils en reprenant à l'étape 2.
 4. Procéder de même avec les autres scénarios en reprenant les étapes 1 à 3.

L'application des 20 paramètres répartis en 6 types sur les 4 scénarios est d'une durée moyenne de 2 h 45. Le principe expérimental est le même que pour les outils (les types de paramètres remplaçant les outils). Après chaque choix d'un niveau de paramètre, le sujet était invité à se prononcer sur la difficulté à faire son choix (c.-à-d. 1. Très facile, 2. Assez facile, 3. Ni facile ni difficile, 4. Assez difficile, 5. Très difficile, Ne s'applique pas) et à justifier son opinion (figure 18).

Section 3 / 7: Outil #33

3.1- Outil #33: Gravité de la blessure ou de la maladie

- Blessure ou maladie modérée
- Blessure ou maladie grave
- Décès, blessure ou maladie très grave

3.2- Les descriptions, les définitions ou le nombre de niveaux de ce paramètre ont rendu mon choix:

- Très facile
- Assez facile
- Ni facile ni difficile
- Assez difficile
- Très difficile
- Ne s'applique pas

3.3- Expliquer votre réponse (par exemple, la définition du paramètre était-elle claire, était-il facile ou difficile de comprendre la signification des différents niveaux, le nombre de niveaux était-il adéquat, les termes utilisés étaient-ils vagues ou clairs, les informations fournies étaient-elles suffisantes?)

Figure 18 – Exemple d'un questionnaire portant sur un paramètre (Gravité du dommage - outil #33).