

Étude exploratoire sur les pratiques des fabricants de machines au Québec en lien avec l'intégration de la sécurité des machines dès leur conception

Yuvn Chinniah
François Gauthier
George Abdul-Nour
Sabrina Jocelyn
Barthélemy Aucourt
Guy Bordeleau

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-1082



NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

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.

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 (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfoIRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2019
ISBN : 978-2-89797-097-0
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,
décembre 2019

Étude exploratoire sur les pratiques des fabricants de machines au Québec en lien avec l'intégration de la sécurité des machines dès leur conception

Yuvn Chinniah¹, François Gauthier², George Abdul-Nour²,
Sabrina Jocelyn³, Barthélemy Aucourt¹, Guy Bordeleau²

¹ Polytechnique Montréal

² Université du Québec à Trois-Rivières

³ IRSST

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-1082



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.

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 tiennent à remercier les entreprises ainsi que toutes les personnes qui ont participé à l'étude en accueillant l'équipe de recherche pour la collecte de données. Sans leur collaboration et leur disponibilité, les données du terrain n'auraient pas été accessibles. Les auteurs remercient aussi Réal Bourbonnière et Gabrielle Desrosiers qui ont aidé à trouver des participants ou qui ont participé aux visites pour la cueillette de données.

Les auteurs expriment aussi leur gratitude envers les membres du comité de suivi paritaire, mis en place par François Ouellet de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), qui ont participé aux orientations de la recherche et à la validation des résultats.

Enfin, les auteurs tiennent à souligner l'apport d'Asma El Filali, étudiante à la maîtrise en génie industriel à Polytechnique Montréal, ainsi que celui d'un autre étudiant¹ au baccalauréat en génie industriel à Polytechnique Montréal qui ont tous deux participé à l'étude dans le contexte de leurs projets respectifs.

¹ Non nommé en l'absence d'autorisation de sa part.

SOMMAIRE

Le présent rapport est destiné principalement à tout organisme québécois œuvrant en matière de prévention des lésions professionnelles (ex. : la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST), les associations sectorielles paritaires (ASP)), pour un ou plusieurs secteurs industriels donnés. Il porte sur une étude exploratoire concernant l'intégration de la sécurité dès la conception des machines et qui a été réalisée auprès de fabricants. Ce rapport intéressera également les concepteurs et fabricants désireux de se renseigner sur la manière dont la sécurité est prise en compte dans la mise en œuvre de machines au Québec. L'objectif de cette étude est de mieux comprendre les pratiques et les besoins des fabricants de machines dans cette province, pour la sécurisation de leurs produits. Plus spécifiquement, l'étude vise à décrire les façons de faire des fabricants de machines, à comprendre les besoins des concepteurs pour l'intégration de la sécurité dès la conception et à caractériser l'adéquation des normes aux besoins des fabricants.

La méthodologie utilisée pour atteindre les objectifs de l'étude est basée sur l'analyse de données recueillies lors d'entrevues et d'observations menées auprès de 17 fabricants de machines québécois. Ces entreprises se spécialisent dans la conception et la fabrication de machines servant à la production dans d'autres entreprises manufacturières. Les machines conçues et construites par ces fabricants sont destinées à plusieurs secteurs d'activité et sont vendues au Québec, au Canada et dans différents marchés d'exportation. La fabrication et l'assemblage de ces machines sont en grande partie effectués dans les ateliers de ces fabricants.

Les fabricants rencontrés comptent sur des équipes de conception composées généralement d'ingénieurs mécaniques, électriques et mécatroniques, de techniciens dans ces mêmes disciplines, de dessinateurs, de mécaniciens et d'électriciens pour la conception de leurs machines. Ces équipes consultent en moyenne entre cinq et six documents normatifs ou réglementaires selon les exigences de leurs clients. Il en va de même pour les outils de conception, alors que la majorité des fabricants emploient des grilles d'appréciation et de réduction du risque inspirées de celles proposées par la CNESST, ou d'organismes de normalisation. Les outils informatiques employés sont généralement les logiciels Solidworks, Autocad, Solid Edge ou d'autres logiciels de conception 3D connus en ingénierie.

La plupart des répondants sont conscients de la nécessité de bien identifier les risques liés à l'usage de leurs machines et évitent le plus possible les démarches informelles qui ne permettent pas toujours de mener une analyse complète. Leurs démarches d'analyse de risque sont généralement documentées selon l'envergure du projet. Tous les fabricants rencontrés installent des protecteurs et des dispositifs de protection. Ils privilégient les protecteurs constitués de châssis rigides et de panneaux en polycarbonate; ils font moins appel aux barrages immatériels et aux scrutateurs laser, car le prix de ces équipements est élevé.

Le contournement de ces moyens de protection demeure une préoccupation pour les fabricants. Les causes évoquées pour expliquer ces contournements se résument aux problèmes liés à la performance et à l'adaptabilité des interfaces humain-machine, aux manques de mesures de sécurité intégrées, à l'absence de dispositifs permettant de faire les

opérations de montage, de reconfiguration ou de maintenance, et à l'acceptabilité des dispositifs de protection par les utilisateurs.

Les aspects coûts, productivité et temps d'opération sont parmi les contraintes qui requièrent une attention toute particulière de la part des équipes de conception. Pour des raisons opérationnelles et de respect des procédés, il arrive parfois que les clients guident les fabricants vers les solutions de sécurité qui leur conviennent ou bien, à l'inverse, qu'ils refusent celles qui leur sont proposées. Les prix et délais initialement convenus pour la conception et la fabrication sont généralement fixes alors que les dépassements de coûts, notamment ceux liés à toutes ces contraintes, sont à la charge des fabricants.

En plus du contournement des moyens de protection et des contraintes imposées par le client, cette étude identifie d'autres problématiques, à savoir, comment s'y prendre pour : 1) faire de la prévention intrinsèque, 2) gérer les risques durant les phases du cycle de vie de la machine autres que la production et la maintenance, 3) assurer le suivi et la mise à jour des normes applicables, 4) concevoir et valider des systèmes de commande relatifs à la sécurité, 5) sensibiliser les clients à la sécurité des machines. Il s'agit d'autant d'éléments méritant d'être traités de manière simple ou vulgarisée, sous la forme d'outils d'aide à la conception ciblant tous les corps de métiers et professions qui prennent part à la fabrication d'une machine.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	iii
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS	ix
1. INTRODUCTION	1
2. ÉTAT DES CONNAISSANCES	3
2.1 Accidents liés aux machines à l'extérieur du Québec.....	3
2.2 Accidents liés aux machines au Québec.....	4
2.3 Intégration de la sécurité dès la conception	4
2.4 Problématique de recherche	5
3. OBJECTIFS DE RECHERCHE	7
4. MÉTHODOLOGIE	9
4.1 Sélection et recrutement des entreprises participantes	9
4.2 Élaboration et validation des outils de collecte de données.....	9
4.2.1 Grille d'entrevue	10
4.2.2 Grille d'observation.....	10
4.2.3 Test et ajustement des grilles	11
4.3 Collecte des données	11
4.4 Traitement et analyse des données	11
5. RÉSULTATS	13
5.1 Les répondants	13
5.2 Description des machines et des clients	15
5.2.1 Les machines	15
5.2.2 Les approches pour l'identification des besoins.....	16
5.2.3 La vérification de la satisfaction des besoins des clients	17
5.2.4 Les considérations pour vérifier la sécurité des machines conçues	18
5.3 Documentation utilisée.....	20
5.3.1 Les documents normatifs et réglementaires	20
5.3.2 Les outils	24
5.3.3 Les logiciels.....	25
5.4 Appréciation du risque	27

5.4.1	La démarche pour l'appréciation du risque	27
5.4.2	Les risques résiduels.....	28
5.5	Stratégies de réduction du risque.....	29
5.5.1	Les pratiques de réduction du risque.....	29
5.5.2	Les demandes spécifiques des clients.....	30
5.5.3	Les mesures de prévention envisagées.....	31
5.5.4	Les contraintes dans l'implantation des mesures de prévention	32
5.6	Contournement des moyens de protection.....	34
5.7	Conception du système de commande relatif à la sécurité.....	35
5.7.1	La documentation utilisée	35
5.7.2	Les principes de conception des systèmes de commande relatifs à la sécurité.....	37
5.7.3	Les difficultés exprimées par les fabricants	37
5.7.4	La détermination du niveau de fiabilité et la validation du circuit de commande relatif à la sécurité.....	39
5.8	Prise en compte de la maintenance durant la conception	40
5.9	Ergonomie et hygiène industrielle	40
5.9.1	Les aspects liés à l'ergonomie.....	40
5.9.2	Les aspects liés au bruit	42
5.9.3	Les aspects liés aux produits contaminants.....	43
5.10	Prise en compte des phases autres que l'utilisation normale de la machine	44
5.11	Industrie 4.0.....	46
6.	DISCUSSION ET CONCLUSION	47
6.1	Discussion	47
6.1.1	Pratique des fabricants de machines en matière de sécurité : faits saillants	47
6.1.2	Besoins des fabricants de machines en matière de sécurité : faits saillants, recommandations et pistes	49
6.2	Conclusion.....	50
	BIBLIOGRAPHIE	53
	ANNEXE A : LISTE DES DOCUMENTS NORMATIFS CITÉS DANS LE RAPPORT	55
	ANNEXE B : ORGANISATION D'UNE VISITE EN ENTREPRISE	57
	ANNEXE C : GRILLE D'ENTREVUE	59
	ANNEXE D : GRILLE D'OBSERVATION DES ÉQUIPEMENTS.....	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5.1.	Nombre de répondants par entreprise visitée.....	13
Tableau 5.2.	Groupes et postes occupés par les répondants	14
Tableau 5.3.	Secteurs d'activité où sont utilisées les machines observées dans le cadre de l'étude	15
Tableau 5.4.	Énergies consacrées au fonctionnement des machines.....	16
Tableau 5.5.	Utilisation des documents normatifs et réglementaires par les fabricants.....	21
Tableau 5.6.	Les outils utilisés.....	24
Tableau 5.7.	Les logiciels utilisés et fréquences d'utilisation.....	26
Tableau 5.8.	Démarche d'appréciation du risque.....	28
Tableau 5.9.	Fréquence des demandes spécifiques des clients	30
Tableau 5.10.	Fréquence de prise en compte des mesures de prévention dans les réflexions des fabricants	32
Tableau 5.11.	Utilisation de la documentation par les fabricants pour la conception d'un système de commande relatif à la sécurité	36
Tableau 5.12.	Principes de conception des systèmes de commande appliqués par les fabricants	37
Tableau 5.13.	Liste des difficultés liées à la conception des systèmes de commande relatifs à la sécurité	38
Tableau 5.14.	Points pris en compte par les fabricants pour la maintenance sécuritaire des machines.....	40
Tableau 5.15.	Préoccupations ergonomiques des fabricants.....	42
Tableau 5.16.	Préoccupations des fabricants face au bruit.....	43
Tableau 5.17.	Moyens de réduction des risques lors des phases de transport, de montage, d'installation et de démantèlement	45

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AFNOR :	Association française de normalisation
ANSI :	American National Standards Institute
CRIQ :	Centre de recherche industrielle du Québec
CSA :	Canadian Standard Institute (Association canadienne de normalisation)
CNESST :	Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail
ÉPI :	Équipement de protection individuelle
ISO :	International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation)
LSST :	Loi sur la santé et la sécurité du travail
NFPA :	National Fire Protection Association
OIQ :	Ordre des ingénieurs du Québec
OSHA :	Occupational Safety and Health Administration
PL :	Niveau de performance (<i>Performance Level</i>)
RSST :	Règlements sur la santé et la sécurité du travail
SIL :	Niveau d'intégrité de sécurité (<i>Safety Integrity Level</i>)
SST :	Santé et sécurité du travail

Remarque : afin d'alléger le contenu du rapport, les documents normatifs AFNOR, ANSI, CSA et ISO sont cités dans le texte sans leur année de publication. Pour connaître l'année de publication dont il est question, le lecteur est invité à consulter la liste des documents normatifs à l'annexe A de ce rapport. Dans le cas où la norme citée correspond à celle consultée par le fabricant rencontré, l'année mentionnée dans la liste bibliographique correspond à la version qu'il a utilisée. Cette année peut donc ne pas correspondre à la dernière version de la norme.

1. INTRODUCTION

Les accidents liés aux machines sont nombreux au Québec. Selon la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST), les machines ont occasionné 2465 lésions professionnelles en 2016 (CNESST, 2017b). Des lacunes en matière de conception des machines font partie des causes retenues d'accidents graves ou mortels. Les employeurs sont légalement tenus par la [Loi sur la santé et la sécurité du travail](#) (LSST) de fournir des équipements sécuritaires à leurs travailleurs. Ils doivent donc composer avec les éventuelles lacunes de conception de leurs machines et apporter les modifications nécessaires. Concevoir des machines sécuritaires est pourtant le fondement de la santé et de la sécurité des travailleurs qui les utiliseront. Cette préoccupation ne touche donc pas uniquement les utilisateurs, mais d'abord et avant tout les fabricants de machines.

Le Québec compte un nombre relativement important de fabricants de machines. En effet, selon les données du Répertoire des entreprises du Québec du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), le Québec comptait, en 2015, 858 entreprises faisant partie de la catégorie « Fabrication de machines ». De plus, le Québec constitue le principal marché de vente pour la majorité de ces entreprises. Ainsi, l'étude dont fait l'objet le présent rapport s'intéresse aux fabricants de machines du Québec et plus particulièrement à leurs façons de faire pour offrir des équipements sécuritaires.

Après un bref état des connaissances, sont présentés les objectifs de l'étude ainsi que la méthode adoptée pour les atteindre. Les résultats issus de la recherche et leur interprétation sont ensuite développés afin d'en faire ressortir des tendances et autres informations pertinentes pour réaliser un état des lieux et formuler des recommandations.

2. ÉTAT DES CONNAISSANCES

La présente section expose d'abord un état des lieux des accidents liés aux machines tant au Québec qu'à l'extérieur de la province. Ensuite, une brève revue de la littérature sur les fabricants et l'intégration de la sécurité dès la conception est présentée afin de faire ressortir la problématique sur le sujet.

2.1 Accidents liés aux machines à l'extérieur du Québec

Selon la norme ISO 12100, une machine est un *ensemble équipé ou destiné à être équipé d'un système d'entraînement, composé de pièces ou d'organes liés entre eux dont au moins un est mobile et qui sont réunis de façon solidaire en vue d'une application définie* (Organisation internationale de normalisation, 2010). Les machines peuvent être à l'origine de phénomènes dangereux qui peuvent engendrer des blessures graves, voire mortelles. Or, comme ils interviennent durant toutes les phases de la vie des machines, les travailleurs sont exposés à ces phénomènes dangereux et il en résulte de nombreux accidents de travail.

En effet, l'agence américaine de statistiques du travail a révélé que 717 décès étaient imputables au contact avec des objets ou des équipements en 2013 (US Bureau of Labor Statistics, 2014). Cela inclut 503 travailleurs décédés après avoir été heurtés par un objet ou un équipement. Parmi ces 503 décès, 245 sont dus à la chute d'un objet ou d'un équipement autre qu'un véhicule motorisé et 29 sont dus à des projections. Cent trente et un (131) décès sont liés à l'entraînement ou à l'écrasement du travailleur par un objet ou de l'équipement, incluant 105 décès lors desquels une machine ou un équipement en fonctionnement était en cause. Soixante-dix-huit (78) travailleurs ont été heurtés, entraînés ou écrasés par l'effondrement d'une structure, d'un équipement ou de matériaux.

Le Health and Safety Executive (HSE) mentionne que 50 % des accidents mortels liés à des pièces en mouvement de machines au Royaume-Uni sont survenus sur des presses à imprimer et des convoyeurs (Health and Safety Executive, 2006). Bulzacchelli *et al.* (2008) mentionnent qu'en 2005, environ 18 % des travailleurs blessés mortellement (soit un peu plus de 1 000) l'ont été à cause d'un contact avec un objet ou un équipement. Quant à Bellamy *et al.* (2007), ils rapportent que 400 accidents soient 21 % des accidents aux Pays-Bas sont causés annuellement par des pièces en mouvement de machines.

En moyenne au Canada, 177 hospitalisations dues à des blessures liées à de la machinerie agricole sont déclarées par tranche de 100 000 habitants chaque année (Brison *et al.*, 2003). Un total de 159 blessures liées aux machines sur 2 390 exploitations agricoles a été déclaré dans la province de Saskatchewan au Canada en 2006. Ces accidents impliquaient des machines agricoles telles que des tracteurs (23 %), du matériel de transport (16 %) et de récolte (16 %), des foreuses (11 %) et des moissonneuses-batteuses (11 %) (Narasimhan *et al.*, 2010). Aucune donnée statistique nationale sur les accidents liés aux machines n'est disponible au Canada, hormis celles du secteur agricole (CSST², 2006).

² Notons qu'au 1^{er} janvier 2016, la CSST est devenue la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST).

2.2 Accidents liés aux machines au Québec

La CNESST a mis en place, en 2005, un plan d'action concernant la sécurité des machines pour informer les fabricants, les employeurs, les travailleurs et autres organismes des risques associés aux machines. Le thème central de ce plan d'action repose sur l'accessibilité des pièces en mouvement des machines. En 2016, les machines ont provoqué 2 465 lésions professionnelles au Québec (CNESST, 2017b). En moyenne entre 2012 et 2016, neuf décès par année étaient imputables aux machines dans la province.

Une étude récente couvrant la période de 1990 à 2011 s'est penchée sur 106 rapports d'accidents graves et mortels liés aux machines dans le secteur de la fabrication et de la transformation au Québec (Chinniah, 2015). Ces 106 accidents ont causé 75 décès (70,8 %) et 31 blessures graves (29,2 %), dont des lacérations profondes et la perte d'un membre supérieur ou inférieur par coincement ou écrasement.

La même étude a également montré que les accidents liés aux machines au Québec sont causés par divers facteurs, dont plusieurs sont associés à la conception même des machines :

- L'accès facile aux pièces en mouvement des machines;
- Le manque de protecteurs fixes et de protecteurs mobiles verrouillés;
- Le contournement des moyens de protection (protecteurs et dispositifs de protection);
- L'absence d'analyse de risque dans les entreprises;
- La position des points de lubrification, des panneaux de commande et des points de vérification de la tension des convoyeurs dans des zones dangereuses;
- Les modifications des machines et de leur système de commande relatif à la sécurité.

2.3 Intégration de la sécurité dès la conception

La CNESST privilégie l'intégration de la sécurité dès la conception comme principal moyen de réduction des risques liés aux machines en entreprises. Les études terrain abordent le plus souvent la sécurisation de machines existantes. Peu d'entre elles se penchent sur l'intégration de la sécurité par les fabricants de machines. Falconnet *et al.* (2013) décrivent le cadre réglementaire assez strict en Europe et expliquent que la conception d'une machine fait appel à de nombreuses démarches, notamment l'analyse fonctionnelle et l'analyse des risques, afin de mettre à disposition du futur utilisateur une machine répondant à la fois à des caractéristiques techniques spécifiques et à des critères de sécurité. Le concepteur doit anticiper le travail de l'opérateur dans le futur contexte d'utilisation et donc les potentiels « scénarios à risque » selon les trois principes suivants : (i) approfondir l'analyse fonctionnelle par l'analyse des risques, (ii) compléter l'approche purement fonctionnelle par une approche centrée sur l'opérateur, (iii) développer un partenariat entre le concepteur et l'utilisateur. Il semble important, à la fois pour le concepteur et pour l'utilisateur, d'intégrer au plus tôt la santé et la sécurité (SST) dans la rédaction du cahier des charges fonctionnel.

Une étude a permis d'analyser et de comparer les modalités d'intégration de la sécurité dans des bureaux d'étude chez un constructeur de rotatives du secteur de l'imprimerie, afin de mieux outiller le processus de conception afin d'assurer une meilleure prise en compte du facteur humain (De la Garza, 2005). La méthodologie était fondée sur des entretiens avec différents acteurs de la conception. Les auteurs ont identifié des voies directes (explicites et formelles) et des voies indirectes (implicites) lors de l'intégration de la sécurité. Les voies directes exigent le partage d'un « référentiel opératif commun » en relation avec un système collectif de connaissances, mais un seul expert en sécurité en est responsable. Les voies directes font appel, entre autres, à des normes, à des documents internes et à la certification de la machine par des organismes externes. Quant aux voies indirectes, elles nécessitent des connaissances sur le travail réel, ses exigences et contraintes et/ou des retours du terrain ou d'accidents. Elles sont liées à un système individuel de connaissances par lequel l'intégration de la sécurité n'est pas systématique : des objectifs de sécurité viennent se greffer aux objectifs de conception.

L'étude de Sangare *et al.* (2012) visait à établir le portrait des fabricants de machines québécois quant à leur utilisation des documents normatifs et réglementaires en matière de sécurité, de qualité et d'environnement. Elle a montré que leur niveau de connaissance et d'utilisation des documents normatifs et réglementaires était relativement peu élevé. Ainsi, selon l'étude, un quart des fabricants de machines ne font appel à aucun document normatif ou réglementaire, alors que près de la moitié en font une utilisation modérée dans leur processus de conception.

Toujours selon cette étude, de nombreux facteurs influencent le taux d'utilisation de ces documents, comme le chiffre d'affaires, le nombre d'employés, l'âge de l'entreprise et l'obtention d'une certification à la norme ISO 9001. Bien que cette étude ne porte pas spécifiquement sur la sécurité des machines, elle a tout de même permis de montrer que les fabricants de machines au Québec ont une perception positive de l'utilisation des documents normatifs et réglementaires relatifs à la SST, quel que soit leur niveau d'utilisation. Cependant, ils croient qu'une présentation rigoureuse des documents normatifs et réglementaires, mieux adaptée à leurs besoins spécifiques, favoriserait une plus grande sensibilisation du personnel d'une entreprise, allant des opérateurs aux plus hauts dirigeants. De plus, les responsables doivent composer avec un ensemble de documents souvent disparates, répétitifs et difficiles d'interprétation. Ils souhaitent une meilleure formation de leur personnel, particulièrement des ingénieurs de conception et de fabrication, pour une intégration réussie des normes et règlements dans leurs entreprises respectives. Par ailleurs, ils s'inquiètent des coûts inhérents à la certification et suggèrent un certain soutien financier de la part des pouvoirs publics pour l'acquisition et l'implantation des normes et règlements dans leur industrie. Cette étude conclut notamment que d'autres études sont nécessaires afin de mieux cerner les besoins des fabricants de machines québécois, notamment en matière de sécurité des machines.

2.4 Problématique de recherche

Un bon nombre d'accidents impliquant des machines est au moins attribuable en partie à des lacunes de conception, par exemple des lacunes rattachées au système de commande. La majorité des machines comporte un système de commande qui inclut des éléments d'automatismes et des parties relatives à la sécurité. Les statistiques d'accidents à travers le monde indiquent qu'une proportion significative (entre 8 et 20 % selon les différentes études) des accidents impliquant les machines serait causée par une défaillance ou un fonctionnement

intempestif de leur système de commande (Svaldi et Charpentier, 2004 ; Dźwiarek, M., 2004 ; Backström et Döös, 2000 ; Lüken *et al.*, 2006).

La sécurité des machines ne concerne donc pas uniquement leurs utilisateurs, mais également les fabricants qui sont en première ligne pour sécuriser leurs produits en intégrant des principes de sécurité dès la conception. Or, rappelons que le Québec compte un nombre relativement important (858 en 2015, d'après le CRIQ) de fabricants de machines, dont plusieurs sont des entreprises de taille modeste.

Au Québec, les rôles du fabricant et de l'intégrateur ne sont pas clairement définis dans la LSST ni dans la section « XXI – Machines » du [Règlement sur la santé et la sécurité du travail](#) (RSST). En effet, une description générale des responsabilités associées à ces divers titres est absente du règlement pour l'ensemble des machines, bien que l'employeur soit tenu responsable de la sécurisation des équipements et de la mise en place de méthodes de travail sécuritaires, selon l'article 51 de la LSST. D'ailleurs, l'article 63 de la LSST montre, sans les nommer directement, que le fabricant et l'intégrateur doivent s'assurer que leur équipement fabriqué ou installé est sécuritaire et conforme aux normes en vigueur :

Nul ne peut fabriquer, fournir, vendre, louer, distribuer ou installer un produit, un procédé, un équipement, un matériel, un contaminant ou une matière dangereuse à moins que ceux-ci ne soient sécuritaires et conformes aux normes prescrites par règlement.

Or, la section XXI du RSST ne prescrit aucune norme en sécurité des machines; cette exigence législative demeure vague. De nombreuses normes sont disponibles pour aider les fabricants à mieux prendre en compte les exigences de sécurité applicables à leurs machines (CSST, 2015). Toutefois, la littérature montre clairement que l'intégration de la sécurité dès la conception par les fabricants de machines est un processus complexe et dont le niveau de maîtrise peut être très variable, notamment en ce qui a trait à l'utilisation des documents normatifs et réglementaires (Sangare *et al.*, 2012). En outre, la structure normative est souvent perçue comme lourde et complexe, et les besoins des concepteurs sont mal connus.

Les pratiques et les besoins des fabricants de machines pour la sécurisation de leurs produits demeurent peu étudiés et donc peu connus. *A priori*, aucune étude antérieure n'a été réalisée dans un contexte où :

- (i) Aucune norme en matière de sécurité des machines n'est imposée dans la réglementation;
- (ii) Il n'y a pas de certification pour la sécurité des machines;
- (iii) Les normes sont nombreuses et complexes à utiliser;
- (iv) La majorité des fabricants de machines sont des petites entreprises.

C'est dans ce contexte que la présente étude propose de s'intéresser plus spécifiquement aux processus d'intégration de la sécurité que mettent en œuvre les fabricants de machines québécois.

3. OBJECTIFS DE RECHERCHE

Le but ultime de tout préventeur est de mettre en place les mesures de réduction du risque les plus efficaces. En concevant entièrement un équipement, les fabricants sont les mieux placés pour y parvenir, notamment par des mesures de prévention intrinsèques qui sont considérées comme les plus efficaces.

L'objectif de la présente étude exploratoire est donc de mieux comprendre les pratiques et les besoins des fabricants de machines au Québec pour la sécurisation de leurs produits. Les difficultés relatives à l'intégration des exigences réglementaires et normatives dès la conception, notamment, sont incluses.

Plus spécifiquement cette étude vise à atteindre les objectifs suivants :

- Mieux comprendre les pratiques réelles et autres façons de faire (processus développés à l'interne, utilisation d'outils spécifiques, recours à des ressources externes, etc.) des fabricants de machines;
- Mieux comprendre les besoins concrets des concepteurs en matière d'intégration de la sécurité à la conception;
- Caractériser l'adéquation des normes aux besoins des fabricants;
- Formuler des recommandations aux comités d'élaboration des normes;
- Déterminer les différents moyens qui permettront de répondre aux besoins identifiés et dont le développement pourra alimenter les activités de recherche subséquentes.

Compte tenu de la nature des objectifs de recherche, ce rapport vise avant tout les organismes québécois œuvrant en matière de prévention des lésions professionnelles, pour un ou plusieurs secteurs industriels donnés.

4. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie utilisée pour atteindre les objectifs de l'étude est basée sur l'analyse de données recueillies lors d'entrevues et d'observations menées chez des fabricants de machines québécois. Elle comprend les quatre étapes suivantes :

- Sélection des entreprises à visiter (fabricants);
- Élaboration et validation des outils de collecte de données;
- Collecte des données;
- Traitement et analyse des données.

4.1 Sélection et recrutement des entreprises participantes

Pour participer à l'étude, les entreprises devaient répondre aux critères suivants :

- Concevoir et fabriquer des machines industrielles au Québec;
- Concevoir et fabriquer des machines pour son propre compte (c'est-à-dire qu'elles n'agissent pas comme un sous-traitant de fabrication pour le compte d'une autre entreprise qui assure la conception) et pour lesquelles elles possèdent leur propre marque de commerce;
- Concevoir et fabriquer des machines destinées à une utilisation par des travailleurs dans un contexte de production;
- Concevoir et fabriquer des machines comprenant un système de commande autre qu'un simple interrupteur de mise en marche.

Par ailleurs, l'échantillon des entreprises sélectionnées devait refléter au mieux la variété des fabricants de machines du Québec, tant par leur taille (petites, moyennes et grandes entreprises) que par le type de produit ou de production. Au total, 17 fabricants ont participé à l'étude.

Un formulaire d'information et de consentement a été remis aux personnes contactées lors du processus de recrutement conformément au certificat de conformité éthique délivré par le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains (CER) de Polytechnique Montréal. Ce formulaire, dûment signé par les parties concernées, assure la confidentialité des données recueillies.

4.2 Élaboration et validation des outils de collecte de données

Le déroulement d'une visite en entreprise (décrit à l'annexe B) prévoyait une entrevue suivie d'une période d'observation d'un équipement fabriqué. L'observation des équipements avait pour but de vérifier le niveau de cohérence entre les réponses obtenues lors des entrevues et la

situation réelle en matière de mesures de prévention mises en œuvre par les concepteurs sur leurs machines, selon les principes de la norme ISO 12100.

4.2.1 Grille d'entrevue

La grille d'entrevue utilisée lors des visites est présentée à l'annexe C. Elle a permis de collecter des données uniformes et comparables pour chaque entreprise. La grille a été approuvée par le CER de Polytechnique Montréal.

Les principaux thèmes abordés dans la grille d'entrevue sont les suivants :

- La documentation utilisée (règlements, normes, guides, et autres documents);
- L'appréciation du risque effectuée (outil d'estimation de risque utilisé, méthode utilisée, la documentation du processus ou non, qui l'effectue, approche participative en équipe, etc.);
- Les stratégies de réduction du risque adoptées (mesures de prévention mises en œuvre, utilisation de la hiérarchie se retrouvant dans les normes, etc.);
- La conception des systèmes de commande (utilisation des principes de sécurité de base, utilisation des principes de sécurité éprouvés, plans et schémas des systèmes de commande, processus de validation des systèmes de commande, documentation de la démarche et dossier technique);
- Les moyens mis en œuvre pour prévenir la neutralisation volontaire des protecteurs et dispositifs de protection (visibilité des zones de travail, utilisation d'actionnement positif, accessibilité des interrupteurs de sécurité, etc.);
- La maintenabilité des équipements (dispositifs d'isolement pour le cadenassage, utilisation de vitesse réduite, accessibilité pour effectuer des interventions de maintenance);
- Les exigences des clients pour les mesures de prévention (ex. : le client impose-t-il certaines conditions pour faciliter la production au détriment de la sécurité?).

4.2.2 Grille d'observation

La grille d'observation utilisée lors des visites est présentée à l'annexe D. Tout comme la précédente, la grille d'observation a été approuvée par le CER de Polytechnique Montréal. Elle avait le même objectif d'uniformité des données collectées, sur les notions suivantes :

- L'utilisation de mesures de prévention intrinsèque;
- L'utilisation de moyens de protection (protecteurs, dispositifs de protection, moyens de protection destinés à réduire les émissions, telles que les poussières et les contaminants chimiques);

- La mise en œuvre des moyens de protection (distance, hauteur, actionnement positif, composants de sécurité, conception du système de commande relatif à la sécurité, etc.);
- L'utilisation de mesures de prévention complémentaires (dispositifs d'arrêt d'urgence, dispositifs d'isolement des sources d'énergie pour le cadenassage, dispositifs d'accès sécuritaire, etc.);
- L'utilisation d'information pour l'utilisation (signaux et dispositifs d'avertissement, avertissements écrits et signaux de danger, documentation pour l'utilisateur, etc.).

4.2.3 Test et ajustement des grilles

La grille d'entrevue et la grille d'observation ont été testées dans les deux premières entreprises visitées afin de s'assurer qu'elles étaient complètes, bien comprises par les répondants et qu'elles permettaient de recueillir toute l'information pertinente sur le terrain. Quelques ajustements mineurs ont été apportés à la grille d'entrevue après la première visite. Ces modifications ont davantage touché la forme que le contenu pour faciliter la prise de notes. Quelques redondances dans les questions ont également été supprimées. La deuxième visite a confirmé le bienfait des changements apportés.

4.3 Collecte des données

Mise à part la première visite au cours de laquelle il y avait quatre membres de l'équipe de recherche pour valider les grilles, la plupart des visites ont été effectuées par un ou deux membres pour des raisons de disponibilité. Les personnes rencontrées, entre une et cinq par visite, étaient toutes impliquées dans la conception des machines des fabricants respectifs bien qu'ayant des titres et fonctions variés.

Le déroulement type prévu, soit une entrevue suivie d'une période d'observation des équipements (détails à l'annexe B), a globalement pu être respecté quoique le temps d'observation ait parfois été écourté faute de disponibilité des participants ou par ce que l'entrevue durait plus longtemps que prévu. Dans ce cas, la grille d'observation était partiellement complétée, voire non utilisée, les membres de l'équipe de recherche préférant privilégier les échanges avec les participants en sachant que les photos prises permettraient de répondre à de nombreuses questions de la grille d'observation. Par ailleurs, il est arrivé à quelques reprises qu'aucune machine ne se trouve dans l'atelier de fabrication lors de la visite. Une fois fabriquées, les machines sont livrées. Il n'y en a donc pas en permanence dans les ateliers.

4.4 Traitement et analyse des données

La stratégie d'analyse des données est basée sur deux approches distinctes : une approche descriptive et une approche comparative.

Dans l'approche descriptive, les données recueillies ont été regroupées par catégories dans un tableau Excel[®], permettant d'établir les tendances des pratiques des fabricants de machines. La documentation utilisée, les méthodes d'appréciation du risque mises en œuvre et les stratégies de réduction du risque adoptées ont ainsi été catégorisées pour l'ensemble des entreprises. Les

données concernant les moyens mis en œuvre pour prévenir la neutralisation volontaire des protecteurs et dispositifs de protection et pour assurer la maintenabilité des équipements ont également été regroupées par catégories. Chacune de ces catégories est abordée dans les sections 5 (résultats) et 6 (discussions) du présent rapport. La grille d'entrevue étant pourvue de sections pour noter des commentaires des participants, les informations complémentaires qu'elles contiennent ont également été prises en compte lors de l'analyse des résultats.

L'approche comparative permettait de vérifier de manière plus concrète l'adéquation entre les pratiques exposées par les divers intervenants lors des entrevues et les caractéristiques des équipements qu'ils conçoivent. En observant les machines présentes dans l'atelier de fabrication, il fut possible de mieux comprendre les difficultés de mise en œuvre de certains aspects relatifs à la sécurité. La triangulation de ces informations permettait de brosser un portrait plus juste de la situation et d'alimenter l'analyse des informations obtenues.

5. RÉSULTATS

Les résultats présentés dans cette section proviennent des grilles d'entrevues et des grilles d'observations complétées chez 17 fabricants de machines. Cet échantillon est jugé suffisant pour remplir les objectifs d'une étude exploratoire. En effet, bien que n'ayant pas de valeur statistique, les données permettent de dégager des tendances et donner des pistes de réflexions pertinentes. De plus, cette tendance dans les données collectées reflétait une certaine saturation. Des 17 fabricants, 3 sont des grandes entreprises (> 500 employés), 6 sont des moyennes entreprises (< 500 employés) et 8 sont des petites entreprises (< 100 employés).

5.1 Les répondants

Les entrevues de groupe ont permis de rencontrer 52 répondants (tableau 5.1) faisant partie des équipes de conception au sein des 17 fabricants participants à l'étude. Les profils scolaires de ces répondants sont généralement ceux d'ingénieurs mécaniques, électriques et mécatroniques, de techniciens dans ces mêmes disciplines, de dessinateurs, de mécaniciens et d'électriciens affectés à la conception.

Tableau 5.1. Nombre de répondants par entreprise visitée

Fabricant	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	Total
Nombre de répondants	5	1	1	1	1	1	3	3	1	3	1	6	6	4	6	4	5	52

Les 52 répondants détiennent 28 titres différents selon les responsabilités qui leur sont attribuées au sein de leur entreprise et sont réunis en sept groupes fonctionnels distincts. Le tableau 5.2 montre les sept grands groupes de fonctions chez les fabricants rencontrés et à partir desquels sont classés les titres des personnes qui ont la charge de la conception des machines, de la recherche, de la veille et de l'intégration des différentes normes en matière de SST en conception de machine.

Tableau 5.2. Groupes et postes occupés par les répondants

GRUPE	POSTE OCCUPÉ	NOMBRE
Direction	Directeur ingénierie	4
	Vice-président et gestionnaire de projet	2
	Directeur salle à dessin	2
	Directeur recherche et développement (R&D)	2
	Directeur technique	1
	Directeur normes et sécurité internationales	1
	Directeur ingénierie et assemblage	2
	Directeur général	1
Ingénieur et programmeur	Ingénieur concepteur électrique	5
	Ingénieur concepteur mécanique	5
	Ingénieur de projet	4
	Ingénieur automatisation et santé et sécurité du travail (SST)	1
	Programmeur	1
Superviseur	Superviseur chargé de projet	1
	Superviseur électrique	1
	Superviseur ingénierie	1
	Superviseur mécanique	1
	Superviseur de méthodes d'ingénierie	1
Technicien et concepteur	Technicien conception électrique	1
	Technicien validation de produit	1
	Concepteur	1
	Dessinateur	1
Spécialiste SST	Conseiller normes de sécurité	1
	Responsable SST	1
	Spécialiste en certification de produit	2
Chargé de projet	Chargé de projet, mécanique	4
	Coordinateur conception électrique	1
	Gestionnaire de projet et documentation	1
Documentation	Directeur dispositions et dessins	2
TOTAL		52

5.2 Description des machines et des clients

5.2.1 Les machines

Cette sous-section réfère aux questions 2.1 à 2.5 de la grille d'entrevue et vise à décrire les caractéristiques générales des machines conçues et construites par les fabricants.

Celles-ci sont destinées à neuf secteurs d'activité différents (tableau 5.3) et sont vendues au Québec, au Canada et dans différents marchés d'exportation. La fabrication et l'assemblage de ces machines sont en grande partie effectués dans les locaux des fabricants. Les activités de conception sont réalisées par des équipes d'ingénieurs, de techniciens et de professionnels. Il arrive que la fabrication et l'installation de certaines composantes soient transférées à des entreprises sous-traitantes. C'est notamment le cas pour des composantes électriques et de programmation.

Tableau 5.3. Secteurs d'activité où sont utilisées les machines observées dans le cadre de l'étude

Secteur d'activité	Proportion de fabricants (%)
Manufacturier général	25
Automobile et utilitaire	19
Chimique, alimentaire et pharmaceutique	19
Agricole	6
Aviation et aérospatiale	6
Horticulture et agroalimentaire	6
Manufacturier spécialisé	6
Manutention	6
Transformation du bois	6

Les principales sources d'énergie de ces machines sont les énergies électriques, hydrauliques, pneumatiques, mécaniques et thermiques (tableau 5.4). D'autres sources d'énergie comme la gravité, les rayons UV et l'énergie chimique sont aussi parfois utilisées. Dans tous les cas, ces machines nécessitent au moins trois sources d'énergie différentes pour qu'elles puissent fonctionner. L'énergie électrique est présente sur toutes les machines observées. Ensuite, les énergies pneumatiques et mécaniques sont les deuxièmes plus utilisées *ex aequo*; on les retrouve sur près de 90 % des machines observées. L'énergie hydraulique est utilisée sur 65 % des machines alors que les énergies thermiques et autres se retrouvent dans moins de 35 % des cas.

Tableau 5.4. Énergies consacrées au fonctionnement des machines

Énergie employée	Fabricant																%	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		Q
Électrique	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	100
Pneumatique	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	-	-	Oui	Oui	Oui	88
Mécanique	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui	Oui	Oui	Oui	88
Hydraulique	Oui	Oui	-	-	Oui	Oui	-	Oui	Oui	-	Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui	-	65
Thermique	Oui	-	-	-	Oui	Oui	-	Oui	Oui	-	-	Oui	-	-	-	-	-	35
Autres	Oui	-	Oui	-	-	-	Oui	-	-	-	Oui	-	-	-	-	-	-	24
Proportion par entreprise (%)	100	67	67	50	83	83	50	83	83	50	83	83	33	50	50	67	50	

5.2.2 Les approches pour l'identification des besoins

Cette sous-section réfère à la question 2.6 de la grille d'entrevue et vise à décrire les approches que les fabricants utilisent pour bien identifier les besoins des clients.

De façon générale, tous les fabricants rencontrés offrent une gamme de machines standardisées, mais qui demeurent modifiables selon les besoins spécifiques des clients. Une fois le projet approuvé, l'ingénierie de détail est lancée. À cette étape, il peut y avoir des ajustements demandés autant par le client que par le fabricant.

Selon les répondants, l'approche usuelle débute par un premier contact du client qui soumet un appel d'offres général pour une machine qui répond à ses besoins de production. Une fois ce premier contact établi avec le fabricant, un cahier des charges précisant les différentes spécifications techniques, dimensionnelles et de capacités de production est préparé généralement par le fabricant en collaboration avec le client. Il arrive parfois que le client n'a qu'une idée approximative de ses besoins si bien que le fabricant examine plus en détail le processus de fabrication du client afin de lui proposer une machine qui réponde le plus fidèlement possible à ses besoins.

En ce qui a trait aux demandes formulées pour répondre aux exigences en matière de sécurité des machines, les clients du Québec exigent généralement dans leurs devis de répondre aux exigences minimales des normes en vigueur et aux exigences de la CNESST. Cependant, les impératifs de productivité pèsent beaucoup dans leurs décisions d'achats. Ces restrictions touchent généralement les coûts liés à l'achat et à l'opération des machines, notamment :

- La productivité fait en sorte que le prix des machines influence la décision d'achat par le client si bien que l'aspect sécurité est souvent perçu comme une entrave à la compétitivité;
- Les demandes de retraits de certains moyens de protection obligent parfois à aller au-delà des exigences normatives et réglementaires, et les fabricants doivent insister auprès de leurs clients pour bien expliquer l'aspect légal de la sécurité des machines;
- Le prix davantage que la sécurité demeure un facteur important pour le client, car il peut y avoir une différence importante entre une machine sécuritaire et une autre qui l'est moins.

En ce qui a trait aux demandes formulées par les clients du reste du Canada, il s'avère que les questions associées aux moyens de protection sur les machines sont moins priorisées qu'au Québec. La raison invoquée est que ces entreprises manufacturières se préoccupent davantage de la qualité des produits fabriqués et de la rentabilité de leurs opérations. Par conséquent, ils recherchent plus des équipements qui répondent à leurs exigences de performance et de rapidité des opérations.

Enfin, les clients d'Europe et des États-Unis ont des exigences qui peuvent être supérieures à celles en vigueur au Québec avec des standards plus spécifiques en matière de sécurité des machines avec l'emploi des normes édictées par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) ou bien en se soumettant aux règlements imposés par l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA).

5.2.3 La vérification de la satisfaction des besoins des clients

Cette sous-section réfère à la question 2.7 de la grille d'entrevue et vise à décrire comment les fabricants de machines s'assurent que les besoins des clients sont comblés et que les machines sont bien livrées.

Cela commence dès l'élaboration du cahier des charges qui sert précisément à définir les besoins du client. Les fabricants échangent beaucoup d'informations avec les clients et les incitent parfois à réfléchir pour être certain de ne rien négliger ou omettre. Le cahier des charges constitue un guide pour le fabricant qui doit s'assurer de bien le respecter. Ensuite, tout au long de la phase de conception d'une machine, des échanges entre le fabricant et le client ont lieu et des demandes sont formulées pour s'assurer que les propositions correspondent aux besoins (qui peuvent évoluer). Des visites en entreprises sont parfois organisées afin que le client puisse observer des machines existantes en opération. Une approbation finale des plans mécaniques, électriques et fonctionnels est aussi souvent exigée par le client avant le début de la fabrication.

Au cours de la phase de fabrication, il arrive que le client se présente chez le fabricant accompagné par son acheteur et d'un opérateur et/ou d'un mécanicien pour s'assurer que la machine répondra à ses besoins et que les différentes interfaces sont opérationnelles. Cette phase est de durée variable selon les besoins du client et il arrive que le fabricant soit obligé d'apporter des modifications qui n'apparaissaient pas dans le cahier des charges initial. De nouvelles rencontres d'équipes sont alors nécessaires pour une révision de conception avec

l'objectif de s'assurer que les modifications ne portent pas atteinte au bon fonctionnement des autres composantes de la machine.

Avant livraison, des tests fonctionnels sont effectués et une approbation interne est généralement requise, et ce, en présence de tous les services et ateliers responsables de la conception et de la fabrication de la machine. Lors de l'installation et de la mise en opération de la machine chez le client, un coordonnateur du fabricant se trouve sur place pour veiller au bon déroulement de ces opérations. Il peut arriver que la machine soit installée par un entrepreneur désigné par le client, mais cet entrepreneur doit se conformer aux directives et exigences du fabricant ou de son coordonnateur qui se trouve sur place. Ce dernier s'assure aussi que le personnel du client soit correctement formé sur les bonnes pratiques d'installation, de maintenance et d'opération de la machine. En collaboration avec les employés du client, le coordonnateur s'occupe enfin de superviser les tests de performance et de s'assurer que les employés opèrent correctement la machine.

Une fois la machine livrée et opérationnelle, le client doit généralement signer un document attestant que la machine est bien installée, qu'elle répond à ses exigences et qu'il comprend bien toutes les particularités d'opération, de sécurité et de maintenance. Le fabricant offre généralement une garantie et un suivi pour une période déterminée afin de bien couvrir tous les aspects opérationnels et de sécurité de la machine.

D'autres considérations ont aussi été exprimées par les répondants :

- *Les besoins et les exigences du client ne sont pas toujours clairs au départ et c'est souvent le fabricant qui propose les solutions en matière de fonctionnement et de sécurité;*
- *Les agents commerciaux canadiens des fabricants de machines s'assurent que leur personnel est correctement formé et apte à former les clients sur les bonnes pratiques d'installation, de maintenance et d'opération des machines vendues, incluant l'aspect sécurité;*
- *Aux États-Unis, il est plus difficile de suivre la formation offerte aux employés des agents commerciaux. Certains fabricants songent à ouvrir des divisions aux USA qui verraient à l'installation des machines et à la formation du personnel du client;*
- *La partie électrique et le système de commande des machines sont souvent confiés à des sous-traitants si bien que les équipes de conception se concentrent surtout sur les aspects mécaniques des machines fabriquées.*

5.2.4 Les considérations pour vérifier la sécurité des machines conçues

Cette sous-section réfère à la question 2.8 de la grille d'entrevue et vise à décrire comment les fabricants de machines s'assurent que la sécurité des équipements conçus est adéquate et fonctionnelle.

Chez l'ensemble des fabricants rencontrés, les équipes de conception procèdent à des analyses de risque basées sur l'identification des phénomènes dangereux; celles-ci sont

effectuées durant la phase de conception, généralement lorsque les dessins 3D sont disponibles. Ces analyses de risque se présentent parfois sous la forme de grilles Excel similaires à celle que propose la CNESST (2017a). Selon les répondants, ces analyses de risques comprennent généralement les étapes suivantes :

- Identifier les dangers de toutes les composantes de la machine;
- Évaluer les risques liés à l'opération et à la maintenance de la machine;
- Hiérarchiser selon le niveau de risque;
- Déterminer les moyens de réduction du risque;
- Vérifier les résultats dans un contexte de prétests;
- Cibler les risques résiduels et proposer des mesures d'atténuation.

Puisque la majorité des fabricants proposent des machines standardisées, mais qui peuvent être adaptées aux besoins spécifiques des clients, les analyses antérieures constituent le point de départ de la majorité des analyses de risque. Ces dernières sont mises à jour de façon à tenir compte de chaque cas particulier et de l'évolution des normes de sécurité applicables. Bien que le client ne soit normalement pas impliqué dans l'analyse de risque, des questions lui sont posées afin de s'assurer que la conception ne contrevient pas avec ses spécifications de sécurité ou de production.

D'autres considérations ont aussi été relevées en lien avec les aspects de la sécurité :

- Les clients font généralement confiance aux fabricants en matière de sécurité des machines, car ce sont eux les experts. Toutefois, si le projet s'avère très particulier, les clients peuvent être davantage mis à contribution;
- Les analyses de risques sont normalement réalisées pour chaque cellule de travail en tenant aussi compte des équipements périphériques;
- Des revues de conception sécuritaire sont effectuées par certains fabricants avant le premier démarrage de la machine. Chaque corps de métier est alors impliqué;
- Des tests de fonctionnement des équipements de sécurité sont effectués en atelier et chez le client par la majorité des fabricants;
- Une vérification d'avant démarrage des aspects santé et sécurité, nommée le *Pre-Start Health & Safety Review* (PHSR)³, est effectuée par un examinateur externe qualifié chez un des fabricants dont les machines sont destinées au marché ontarien;
- Les mesures de réduction des risques associées aux poussières et autres contaminants sont plus difficiles à valider en atelier. Elles ne sont approuvées que lorsqu'elles sont en opération chez le client.

³ Directives sur les examens préalables de santé et de sécurité : application de l'article 7 du Règlement 851 (Établissements industriels) <https://www.labour.gov.on.ca/french/hs/pubs/psr/index.php>

5.3 Documentation utilisée

Les questions de la partie 3 de la grille d'entrevue concernent les bases documentaires utilisées pour guider la conception des machines. Les questions posées portent sur la manière dont les fabricants s'y prennent pour connaître les normes et règlements, leur application et celles retenues dans la conception de machines, les outils et logiciels proposés par les organismes et associations de normalisation et enfin ceux qui les utilisent dans leur travail de conception.

5.3.1 Les documents normatifs et réglementaires

Cette sous-section réfère aux questions 3.1, 3.2 et 3.3 de la grille d'entrevue et vise à décrire les normes et règlements utilisés par les fabricants pour la conception des machines ainsi que les pratiques entourant l'utilisation de ces documents.

Les fabricants rencontrés appliquent plus de 30 normes et règlements qui servent de référence dans la conception de leurs machines. Bien que ces normes et règlements traitent de sujets variés, la grande majorité concerne l'aspect sécurité des machines. Ces documents sont généralement disponibles à tout le personnel via un intranet propre à chaque fabricant. Pour les obtenir et faire le suivi des mises à jour, des vérifications à des cycles variables sont effectuées auprès de la CNESST et d'organismes et associations de normalisation tels ISO, CSA, OSHA et AFNOR. Il ne s'agit toutefois pas de pratiques généralisées et les fabricants n'ont pas tous un processus formel de veille en matière de normes et règlements. Le tableau 5.5 expose la liste des documents normatifs et réglementaires utilisés par les fabricants rencontrés.

L'ensemble des fabricants consulte en moyenne entre cinq et six documents normatifs ou réglementaires pour concevoir leurs machines selon les exigences de leurs clients et les règles de l'art en matière de santé et sécurité dans les pays où elles seront livrées. La norme CSA Z432 qui concerne la protection des machines, la norme ISO 12100 qui concerne les principes généraux de conception, le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST), la norme ISO 13849 sur les parties de systèmes de commande relatives à la sécurité et la norme CSA Z434 sur les robots industriels et systèmes robotiques sont, dans l'ordre, ceux qui sont les plus utilisés par les équipes de conception des fabricants rencontrés.

À la lecture du tableau 5.5, on remarque que les fabricants utilisent aussi des documents plus spécifiques à leurs besoins. Ces documents peuvent être des normes européennes spécifiques à la fabrication des machines qu'elles conçoivent, sinon des normes ou règles internes propres à certains clients comme ceux qui vont au-delà du code de l'électricité, des règles d'adaptation quant à la géométrie des composantes et des règles concernant les dimensions des protecteurs pour permettre aux opérateurs d'avoir une meilleure visibilité.

Tableau 5.5. Utilisation des documents normatifs et réglementaires par les fabricants

Document ^(a)	Nombre de fabricants	Fréquence de consultation				
		Jour	Semaine	Mois	Année	Indéterminée
Documents spécifiques	14	1	4	5	3	1
CSA Z432	13	1	4	4	4	-
ISO 12100	12	-	2	4	6	-
RSST	10	2	-	3	4	1
ISO 13849	8	2	1	3	1	1
CSA Z434	6	2	-	1	3	-
CSA C22.2	3	1	-	1	1	-
CSA Z460	2	-	-	-	2	-
CSA W47.1	2	1	1	-	-	-
ISO 10218	2	1	-	1	-	-
ISO 13857	2	1	-	1	-	-
AFNOR NF-C ^(b)	1	-	-	-	-	1
ANSI B11	1	-	-	-	1	-
ANSI B56.5	1	1	-	-	-	-
ANSI B65.1	1	-	-	-	1	-
ANSI B155.1	1	1	-	-	-	-
Marquage CE	1	-	1	-	-	-
CSA Z142-10	1	-	-	-	1	-
CSA Z462-15	1	-	-	-	1	-
CSA 1849 ^(c)	1	-	-	-	1	-
ISO 13850	1	-	-	1	-	-
ISO 13855	1	-	-	1	-	-
ISO 14119	1	-	-	-	-	1
ISO 14120	1	-	-	-	-	1
ISO 14121	1	-	1	-	-	-
ISO 14122	1	1	-	-	-	-
ISO 23125	1	-	-	-	-	1
NFPA 484	1	-	-	1	-	-
OSHA 18001	1	-	-	1	-	-
RIA 15.06	1	-	-	1	-	-

^(a) Les références des normes citées se trouvent à l'annexe A.

^(b) C'est un regroupement de normes d'électricité qui visent, d'une part, la construction du matériel électrique et, d'autre part, la réalisation des installations électriques. Ce numéro ne se retrouve pas dans l'annexe A puisqu'il ne réfère pas à un document en particulier, mais plutôt à la série AFNOR NF C15 comportant plusieurs normes.

^(c) Cette norme a été citée par une équipe de conception et notée dans le rapport d'entrevue. Il est toutefois impossible d'en trouver la source, mais elle est conservée au rapport pour respecter les réponses données lors des entrevues.

Différentes approches sont mises en œuvre par les fabricants pour connaître les normes et règlements. Généralement, les équipes de conception délèguent un membre à qui revient la responsabilité d'en prendre connaissance, de les documenter, de colliger les différentes mises à jour et de les faire connaître aux autres membres des équipes. Pour ce faire, les répondants affirment prendre connaissance des normes et règlements des manières suivantes, mais aussi en exprimant les contraintes qu'ils rencontrent :

- Lors de la participation à des salons professionnels et d'échanges avec les pairs;
- Durant les formations données par des consultants externes ou bien par des associations sectorielles;
- Par abonnement à des infolettres venant d'associations d'entreprises ou bien sectorielles;
- En se référant aux répertoires de ces associations sectorielles qui colligent les exigences en matière de fabrication de machines et d'équipements;
- Vérification plus approfondie des normes concernées avant la conception lorsqu'une situation exige de faire appel à des normes plus rarement utilisées;
- Abonnement à des sites de mise à jour des normes et de documents SST;
- Un auditeur accrédité par la CSA effectue des vérifications quatre fois par année pour la certification des panneaux électriques si bien que le fabricant se doit de faire des mises à jour régulières;
- Par démarche personnelle et par échanges avec les pairs;
- En travaillant les dossiers de chaque nouveau projet ou lorsqu'un projet exige de faire appel à des normes plus rarement utilisées, le fabricant prend connaissance des normes applicables;
- En consultant le centre de documentation de la CNESST, car les fabricants n'achètent pas toujours les normes;
- En consultant les fournisseurs de composantes et les organismes de certification qui sont au courant des mises à jour de normes;
- En établissant un système d'alerte par courriel sur les différentes normes en vigueur;
- En étant membre d'une mutuelle de prévention qui alimente régulièrement les fabricants en information SST;

Pour obtenir les documents normatifs et réglementaires qui touchent à la sécurité des machines, les répondants affirment généralement ne pas avoir de difficultés à se les procurer. Toutefois, il est parfois difficile de se conformer aux normes, car les mesures qu'elles

préconisent peuvent s'avérer trop coûteuses à implanter ou bien impossibles à intégrer. D'autres contraintes liées à l'utilisation des documents normatifs et réglementaires sont évoquées par les répondants comme celles énumérées ci-dessous :

- Acheter les différentes normes est un exercice coûteux, surtout lorsque chaque projet de construction de machines est soumis à des normes différentes;
- Il est difficile de prouver la conformité par rapport aux exigences de résistance aux impacts. Cela exige de procéder à des tests qui nécessitent du matériel coûteux et l'investissement requis peut ne pas être justifié;
- La [directive du Parlement européen relative aux machines](#) et la norme ISO 12100 sont plus faciles à appliquer grâce au principe du risque « acceptable », alors qu'au Québec, la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) impose une politique de « tolérance zéro » qui est beaucoup plus contraignante;
- Les équipes de conception éprouvent des difficultés pour déterminer quelle norme choisir et ne se sentent pas bien guidées lorsqu'elles consultent les autorités de la CNESST;
- Les équipes de conception éprouvent aussi des difficultés au regard de la gestion des différents documents normatifs et réglementaires qui parfois sont contradictoires;
- Les terminologies des versions françaises diffèrent souvent des versions originales anglaises; ces différences entraînent parfois de la confusion. Une révision visant à uniformiser la terminologie serait souhaitée;
- Beaucoup de machines sont destinées aux États-Unis où les règles édictées par l'OSHA sont souvent peu précises et imputent la responsabilité sur le client plutôt que sur le fabricant. Les fabricants s'orientent donc davantage vers les normes internationales (ISO);
- Les fabricants qui œuvrent dans la fabrication de machines destinées aux secteurs pharmaceutiques et alimentaires éprouvent des difficultés à conjuguer les exigences de l'hygiène avec celles de santé et sécurité;
- Les exigences contenues dans les normes sont perçues comme trop académiques, voire irréalisables et des exemples plus concrets et réalistes seraient souhaités;
- La complexité des normes s'avère un obstacle à leur compréhension et oblige à augmenter le nombre de personnel expert chez les fabricants;
- Certaines recommandations ne sont pas réalisables et les équipes de conception doivent se débrouiller au mieux et composer avec les incertitudes qu'elles engendrent;
- Le polissage de métaux génère des poussières combustibles qui nécessitent les mesures de la catégorie zone 2 (Ménard, 2008). Cela exige l'utilisation d'équipements

antiexplosion qui n'est pas compatible avec les équipements constituant certaines machines (robots, outils);

- La NFPA 484 exige l'approbation d'autorités locales (ex. : chef pompier) pour l'installation d'équipements susceptibles d'exploser. Ces personnes n'étant pas familières avec les machines, les démarches peuvent donc être longues; de plus, cette norme est trop vague et exige des tests sans mentionner comment ils doivent être réalisés.

5.3.2 Les outils

Cette sous-section réfère aux questions 3.4 et 3.5 de la grille d'entrevue. Elle présente les outils utilisés par les fabricants pour les aider dans l'intégration de la sécurité lors de la conception de leurs machines et les difficultés rencontrées à leur utilisation. La grille Excel d'analyse du risque n'est pas considérée comme un logiciel, car il s'agit d'un outil, issu d'un guide, transposé dans Excel.

Le tableau 5.6 montre que sept outils spécifiques sont utilisés pour analyser et réduire les risques liés à l'utilisation et la maintenance des machines. Parmi ces outils, les grilles en format Excel basées sur les normes CSA, ISO, OSHA ou autres sont les plus employées par les fabricants rencontrés. La grille d'analyse du risque telle que proposée par la CNESST sur son site Internet dans la section « Outil d'identification des risques » (Bourque, 2016) est utilisée par sept fabricants. Bien que la démarche soit généralement structurée, les analyses du risque des machines précédemment fabriquées sont colligées pour profiter des expériences passées et accélérer le processus d'analyse du risque.

Tableau 5.6. Les outils utilisés

Outil utilisé	Nombre de fabricants	Fréquence d'utilisation				
		Jour	Semaine	Mois	Année	N/D
Grilles d'analyse et de réduction du risque basées sur CSA, ISO, OSHA et autres	15	2	3	4	4	2
Grille Excel d'analyse du risque proposée par la CNESST	7	2	-	1	4	-
Sécurimètre	5	-	-	5	-	-
Grilles d'aide à la décision	1	-	-	1	-	-
Liste de vérification analyse projet	1	-	1	-	-	-
Outils internes de validation et de mise en route	1	-	1	-	-	-
Aucune grille utilisée	1	-	-	-	-	-

Il est à noter que l'un des fabricants rencontrés n'utilise aucune grille formalisée d'analyse et de réduction du risque. Néanmoins, l'équipe de conception procède à une vérification pour s'assurer que les « normes de sécurité » sont minimalement respectées et ces données sont colligées sur une grille Excel. La raison évoquée est que l'entreprise fournit la machine, mais ce sont les clients qui gèrent l'installation de toutes les passerelles qui se trouvent autour de celle-ci. Chaque machine peut être installée différemment, en hauteur notamment, selon les caractéristiques dimensionnelles de chaque usine où elles sont employées.

5.3.3 Les logiciels

Cette sous-section réfère aux questions 3.6 et 3.7 de la grille d'entrevue et présente les logiciels qui sont utilisés par les fabricants pour les aider à intégrer la sécurité dans la conception de leurs machines et les difficultés rencontrées à leur utilisation. Le tableau 5.7 montre que, pour un grand nombre de fabricants, la conception des machines s'effectue avec les différentes fonctionnalités de conception 3D des logiciels Solidworks, Autocad, Solid Edge ou leurs équivalents. Ces logiciels offrent l'avantage d'être très accessibles et largement connus par la majorité des ingénieurs et techniciens de conception. Ils demeurent des outils informatiques suffisamment performants.

Tableau 5.7. Les logiciels utilisés et fréquences d'utilisation

Logiciel utilisé	Nombre de fabricants	Fréquence d'utilisation				
		Jour	Semaine	Mois	Année	N/D
Solidworks, Autocad, Solid Edge ou autres logiciels de conception 3D	14	9	2	4	-	-
Logiciels spécifiques de conception tels ABAQUS, NX Conception et autres	6	2	1	2	2	-
SISTEMA - logiciel d'intégration des sécurités pour l'évaluation des applications machine	6	0	1	3	2	-
Excel (calcul de distances de sécurité)	4	1	1	2	-	-
Logiciel programmation des contrôles (Pliz, Allen Bradley et autres)	3	-	3	-	-	-
MS Project - logiciel de gestion	2	2	-	-	-	-
Design Safe – Logiciel de conception sécuritaire	1	-	-	1	-	-
E-Plans - logiciel de calcul de mesures sur plans numériques	1	1	-	-	-	-
Logiciels de programmation des modules de sécurité	1	-	-	1	-	-
Outils informatiques développés à l'interne	1	-	-	-	1	-
Matlab – logiciel de calculs numériques	1	1	-	-	-	-
Teamcenter - logiciel de gestion du cycle de vie des produits	1	1	-	-	-	-

Les exigences en matière de fiabilité et de résistance des machines amènent les équipes de conception à utiliser de plus en plus de logiciels d'analyses par éléments finis qui optimisent le prototypage virtuel et la simulation numérique. C'est le cas de logiciels comme ABAQUS, NX Conception et autres. Cependant, étant donné qu'un grand nombre des machines observées sont rarement modifiées, le coût des logiciels spécialisés devient rédhibitoire pour certains fabricants par rapport à l'utilisation qui en est faite.

Aussi, comme les machines sont de plus en plus assujetties à des systèmes de commande complexes, le logiciel SISTEMA est souvent utilisé par les équipes de conception. Ce logiciel est gratuit, facile à obtenir et permet le calcul du niveau de performance (PL) d'un système de commande de machine en conformité avec la norme ISO 13849-1. Bien qu'il ne soit pas facile à maîtriser, il est considéré comme essentiel pour modéliser la structure des fonctions de sécurité

en se basant sur des architectures désignées dont il faut établir des valeurs de fiabilité avec différents niveaux de détails.

Les autres logiciels utilisés sont généralement ceux dont les licences sont faciles à obtenir et qui sont utilisés pour des applications de conception, de simulation, de gestion de projet, ou d'analyse par calculs complexes. Quatre fabricants ont développé un outil Excel pour le calcul des distances de sécurité entre les ouvertures maximales admissibles sur leurs machines et les points constituant des dangers pour ceux qui les opèrent et en font la maintenance.

5.4 Appréciation du risque

Les questions de la partie 4 de la grille d'entrevue concernent les différents aspects de l'appréciation du risque réalisée par le fabricant. Les questions posées touchent à la démarche pour l'appréciation du risque, les risques résiduels qui persistent après analyses, les approches pour traiter ces risques résiduels et la manière dont l'information est transmise aux clients.

5.4.1 La démarche pour l'appréciation du risque

Cette sous-section réfère à la question 4.1 de la grille d'entrevue et traite de la démarche d'appréciation du risque que les fabricants suivent dans le processus de conception de leurs machines.

La majorité des équipes de conception rencontrées suivent une démarche d'appréciation du risque dans leur processus de conception de machines (tableau 5.8). Seulement trois fabricants ont indiqué ne pas avoir de démarche formelle d'appréciation du risque. Cette démarche comprend les quatre étapes usuelles (cf. les quatre premières lignes du tableau suivant) préconisées dans la norme ISO 12100 chez neuf des 17 fabricants. Notons que c'est surtout l'étape d'évaluation du risque qui est escamotée, ce qui permet de compléter que l'analyse de risque (et non l'appréciation du risque) telle que définie dans la norme ISO 12100.

La plupart des répondants affirment être conscients de la nécessité de bien identifier les risques présents sur leurs machines. Ils évitent le plus possible les démarches informelles qui ne permettent pas toujours de faire une analyse complète. L'ensemble de la démarche est documenté chez 14 fabricants, selon l'envergure du projet.

Les répondants affirment que l'étape d'appréciation du risque peut être longue et qu'il faut énormément argumenter sur des points à partir desquels les membres de l'équipe de conception peuvent avoir des divergences d'opinions. C'est notamment le cas lorsqu'il est question de procéder à l'estimation et l'évaluation du risque : les normes ne donnent pas de bornes précises permettant de guider les concepteurs dans ces étapes. À terme, une décision de la direction devient nécessaire afin de déterminer un niveau de risque tolérable et tracer une balise claire qui est basée sur les coûts, les délais et la faisabilité.

Tableau 5.8. Démarche d'appréciation du risque

	Fabricant																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
Détermination des limites de la machine	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui	Oui	Oui	-	-	Oui	82 %
Identification des phénomènes dangereux	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui	Oui	Oui	-	-	Oui	82 %
Estimation du risque	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui	Oui	Oui	-	-	Oui	82 %
Évaluation du risque	Oui	-	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	-	Oui	-	-	-	Oui	-	-	Oui	59 %
Démarche formelle documentée	Oui	-	Oui	-	-	Oui	82 %											
Démarche informelle et verbale autour d'une table	Oui	Oui	-	Oui	-	Oui	-	-	-	Oui	Oui	-	-	Oui	-	-	Oui	47 %

Par ailleurs, une démarche complète d'appréciation du risque n'est pas systématiquement réalisée pour chaque machine lorsque l'entreprise procède à la fabrication de machines quasiment identiques qui sont seulement adaptées aux besoins des clients. Dans ce cas, une simple revue de conception est effectuée pour s'assurer que tous les aspects SST sont couverts.

Enfin, le rôle de la responsabilité des ingénieurs, en vertu de la [Loi sur les ingénieurs](#), a été évoqué et certains répondants ont rappelé que la sécurité des machines appartient au champ de pratique des ingénieurs.

5.4.2 Les risques résiduels

Cette sous-section réfère aux questions 4.2 et 4.3 de la grille d'entrevue et traite de la manière dont sont considérés les risques résiduels après l'implantation des principaux moyens de réduction du risque.

Essentiellement, les mesures prises pour traiter les risques résiduels font appel à l'utilisation de pictogrammes apposés sur les machines, à des mentions spécifiques dans les manuels d'opération et de maintenance, à des appréciations du risque avec les clients alors que les machines sont installées et en opération et, enfin, à des formations.

D'autres considérations sont évoquées par les répondants pour expliquer comment ils traitent les risques résiduels :

- *Il n'y a pas d'approche structurée pour traiter les risques résiduels, mais l'exercice est fait de façon à présenter des solutions;*
- *S'il y a un risque résiduel à la fin du processus, il doit être minime et nécessite une formation sur les procédures d'opération et de maintenance de la machine. Si le risque n'est pas jugé tolérable, le fabricant peut retenir la livraison le temps de réduire le risque à un niveau acceptable;*
- *Une seconde appréciation du risque peut être nécessaire lorsque la machine est encore dans l'atelier de fabrication;*
- *Si un « risque grave » est identifié, une fiche mandat est émise et la machine est mise à l'arrêt tant qu'il n'y a pas eu de contre-mesure proposée et mise en application;*
- *Il arrive parfois que ce soit le client qui identifie des risques résiduels. Une analyse de risque additionnelle est alors effectuée pour savoir s'il faut modifier la composante posant un problème et un consensus entre le client et le fabricant est demandé;*
- *Dans le manuel de maintenance et d'utilisation de la machine fourni au client, un chapitre est consacré à l'aspect « sécurité ». L'emploi de notes et de pictogrammes amène le lecteur à connaître les risques résiduels auxquels il fait face;*
- *Pour augmenter la sécurité des opérateurs et travailleurs de la maintenance, des autocollants avertissant de la présence de dangers sont appliqués sur la machine et le client est informé de la nécessité d'une formation et du port des équipements de protection individuelle (ÉPI).*

5.5 Stratégies de réduction du risque

Les questions de la partie 5 de la grille d'entrevue concernent les stratégies employées par les fabricants pour réduire les risques inhérents aux opérations et à la maintenance des machines. Les questions posées touchent aux pratiques de réduction des risques et aux types de demandes formulées par les clients.

5.5.1 Les pratiques de réduction du risque

Cette sous-section réfère à la question 5.1 de la grille d'entrevue et vise à savoir comment les fabricants de machines éliminent les phénomènes dangereux ou réduisent les risques, notamment si la hiérarchie des moyens de réduction du risque est utilisée.

Les phénomènes dangereux liés à l'utilisation et à la maintenance des machines, et les niveaux de risques qui y sont associés, exigent l'installation de moyens de protection usuels tels des protecteurs et des dispositifs de protection. Aussi, de façon générale, les répondants ont affirmé que, plus les risques sont élevés, plus les exigences concernant les systèmes de commande doivent être élevées. La norme EN ISO 13849-1 est souvent citée pour expliquer que l'analyse de risque amène à un niveau de performance (*PL - Performance Level*) requis.

Différentes pratiques ont été rapportées par les répondants, mais elles se résument souvent par les points suivants, dans le même ordre :

- Les mesures de prévention intrinsèques : elles sont généralement les moins chères, mais pas toujours les plus simples à mettre en œuvre;
- Les protecteurs : ils ne doivent pas nuire aux opérations;
- Les dispositifs de protection : ils sont coûteux donc utilisés lorsqu'aucune des précédentes solutions n'est envisageable;
- Les informations pour l'utilisation et la formation : elles sont transmises soit en usine soit chez le client.

5.5.2 Les demandes spécifiques des clients

Cette sous-section réfère à la question 5.2 de la grille d'entrevue et traite de la nature et de la fréquence des spécifications demandées par les clients.

Comme le montre le tableau 5.9, les demandes des clients sont très générales, même si ceux-ci s'attendent à ce que les mesures de prévention répondent aux prescriptions normatives en santé et sécurité généralement reconnues. Ces demandes ne sont pas toujours acceptées et font l'objet d'une certaine négociation entre le client et le fabricant. Cet exercice exige de tenir compte des coûts qui découlent de ces demandes, de la faisabilité technique, de leurs effets sur l'utilisation et la sécurité de la machine.

Tableau 5.9. Fréquence des demandes spécifiques des clients

Type de demandes	Nombre de fabricants	Fréquence des demandes portées à la connaissance des fabricants					
		Toujours	Très fréquent	Souvent	Rarement	Jamais	Ne sais pas
Ajout de mesures de prévention	12	-	1	2	9	5	-
Retrait de mesures de prévention	10	-	1	3	6	7	-
Modification de mesures de prévention	15	-	-	6	9	2	-
Modification intrinsèque à la machine (<i>changement de produit, processus modifié</i>)	8	-	-	1	7	6	3
Conformité à certaines normes ou règles (<i>ISO, OSHA, couleur, dimensions ou autres</i>)	13	2	2	4	5	1	3

De tous les fabricants rencontrés, un seul affirme ne pas recevoir de demandes spécifiques de la part de ses clients, car la machine est utilisée au sein même de son entreprise. L'utilisateur est partie prenante de la conception en participant aux discussions, à la réflexion et aux

différentes étapes de conception de la machine. Pour les autres fabricants, ils reçoivent tous des demandes de modifications de la part de leurs clients.

Certains clients demandent des ajouts de moyens de protection afin d'uniformiser leur parc machines. Ces demandes sont toutefois plutôt rares ou inexistantes chez 14 des 17 fabricants.

Il arrive que des clients demandent à ce que certaines mesures de prévention ne soient pas appliquées en affirmant qu'ils vont s'en charger eux-mêmes afin de répondre à leurs propres standards de sécurité. Dans ces cas particuliers, les fabricants s'assurent d'informer officiellement les clients des risques associés à l'utilisation et à la maintenance de la machine sans ces mesures et demandent une décharge de responsabilité.

Au registre des demandes de modifications, elles consistent généralement à standardiser l'équipement pour apporter soit des changements de couleurs, de dispositions et d'accès à divers éléments ou à inclure d'autres types de protecteurs. Des modifications de mesures de prévention sont parfois effectuées durant la conception lors de laquelle les échanges avec les clients sont fréquents. La raison évoquée par les répondants est à l'effet que les clients évoluent dans leurs réflexions et les exigences en matière de santé et sécurité peuvent également évoluer tout au long de la conception. Ces demandes de modifications sont souvent formulées par les clients chez six des fabricants rencontrés.

En ce qui a trait aux demandes de modifications intrinsèques à être apportées aux machines, elles ne surviennent que rarement auprès de sept des fabricants rencontrés.

Enfin, des demandes de conformité à certaines normes spécifiques sont parfois formulées pour des machines destinées à l'extérieur du Canada. Deux fabricants mentionnent toujours avoir ce type de demande de la part de leurs clients. Ces demandes sont « souvent » ou « fréquemment » exprimées auprès de six fabricants. Six autres équipes de conception affirment être rarement, sinon jamais sollicitées pour ce type de demande de conformité et trois soutiennent ne pas être en mesure de répondre à la question.

5.5.3 Les mesures de prévention envisagées

Cette sous-section réfère à la question 5.4 de la grille d'entrevue et traite des mesures de prévention envisagées par les fabricants. Ces informations ont également été corroborées par les observations des machines en atelier.

À la lecture du tableau 5.10, on constate que tous les fabricants rencontrés envisagent toujours des protecteurs sur les machines qu'ils conçoivent, suivis de près par les dispositifs de protection. Ils privilégient notamment les protecteurs constitués de châssis rigides et de panneaux en polycarbonate. Par ailleurs, les fabricants font moins appel aux barrages immatériels et aux scrutateurs laser, car ces équipements sont coûteux et augmentent de façon significative le prix des machines. Dans un marché concurrentiel, c'est une variable qui s'avère importante.

Les informations sur l'utilisation des machines font aussi partie des pratiques généralement employées par les fabricants. Ils intègrent souvent des mesures de prévention complémentaires, comme celles qui permettent de faciliter le cadenassage des machines. En ce qui a trait à la prévention intrinsèque, 10 fabricants affirment envisager la suppression des

risques sur les machines qu'elles fabriquent et sept affirment qu'elles tentent de réduire le risque à l'étape de conception. Parmi les fabricants, neuf vont recommander l'utilisation d'équipements de protection individuelle dans le manuel de l'utilisateur. Toutefois, plusieurs des équipes de conception interrogées affirment qu'à ce registre, la responsabilité relève du client.

Tableau 5.10. Fréquence de prise en compte des mesures de prévention dans les réflexions des fabricants

TYPE DE MESURES DE PRÉVENTION	Nombre de fabricants	Fréquence						
		Toujours	Très fréquent	Souvent	Rarement	Jamais	Ne sais pas	Aucune information
Prévention intrinsèque (<i>suppression du danger</i>)	16	10	1	4	1	1	-	-
Prévention intrinsèque (<i>réduction du risque par conception</i>)	16	7	2	5	2	1	-	-
Protecteurs	17	17	-	-	-	-	-	-
Dispositifs de protection	17	16	-	-	1	-	-	-
Mesures de prévention complémentaires	17	13	1	1	2	-	-	-
Informations pour l'utilisation	17	14	1	1	1	-	-	-
Équipements de protection individuelle (ÉPI)	11	9	-	1	1	4	-	2

5.5.4 Les contraintes dans l'implantation des mesures de prévention

Cette sous-section réfère à la question 5.5 de la grille d'entrevue et traite des principales contraintes ou difficultés associées à la mise en œuvre des mesures de prévention.

Plusieurs des répondants ont indiqué que la mise en place de moyens de protection peut interférer avec d'autres parties d'une machine et gêner la production. Ceux-ci ont également souligné le fait que les produits que fabriquent les clients sont en constante évolution ce qui oblige à constamment modifier les nouvelles machines. D'autres contraintes peuvent s'ajouter comme augmenter la productivité, limiter les besoins en formation, simplifier et rendre intuitives les opérations de production et de maintenance et l'ergonomie des postes de travail. La rétention du personnel est aussi une préoccupation chez les clients si bien qu'une contrainte additionnelle s'est ajoutée pour les fabricants : bien concevoir l'équipement pour faciliter les tâches des travailleurs.

Comme il en est fait mention dans la sous-section précédente, il existe une multitude de contraintes avec lesquelles les équipes de conception doivent composer quand elles doivent concevoir des machines :

- Les aspects coûts, productivité et temps d'opération sont parmi les contraintes qui requièrent une attention toute particulière de la part des équipes de conception;
- Les différentes contraintes représentent d'autant plus un enjeu important que les prix et délais initialement prévus pour la construction de machines sont généralement fixes, que la responsabilité de les respecter revient aux fabricants, qui doivent en assumer les dépassements le cas échéant;
- Pour des raisons opérationnelles et de respect des procédés, il arrive parfois que les clients guident les fabricants vers des solutions qui leur conviennent ou bien, à l'inverse, qu'ils refusent ce qui leur est proposé;
- Les espaces de dégagement autour et dans les machines sont souvent limités et posent un défi quant à l'ergonomie, à la visibilité, à l'accès aux pièces et aux composantes de la machine, et au respect des distances de sécurité;
- Ces contraintes sont d'autant plus importantes lorsque les machines conçues ont à être insérées parmi d'autres machines ayant aussi des contraintes similaires. La gestion des interactions et du flux de production avec ces autres machines peut s'avérer compliquée; leurs particularités respectives peuvent être problématiques;
- C'est d'autant plus vrai alors que de nouvelles machines doivent être insérées dans une chaîne comportant de très vieux équipements qui n'ont pas été conçus avec les mêmes standards et normes de sécurité, ou bien que les panneaux électriques d'origine manquent d'espace pour ajouter d'autres composants;
- Dans le cas des machines devant respecter les normes pharmaceutiques et alimentaires, les exigences d'hygiène imposent des nettoyages fréquents à prendre en compte pour concevoir des machines facilement nettoyables tout en étant sécuritaires;
- Les bruits peuvent servir à déceler un problème d'usure sur les machines, mais aussi à diagnostiquer des problèmes. Isoler totalement une machine peut s'avérer être un obstacle à certaines tâches. Un compromis doit parfois être trouvé pour protéger les travailleurs tout en ne les privant pas de leurs repères sonores;
- La perception des risques est objective, car elle dépend notamment des expériences vécues par chacun. Cela rend parfois difficile le travail de groupe dont les discussions peuvent s'éterniser pour statuer sur l'acceptabilité ou non d'un risque, par exemple;
- Les équipes de conception essaient de considérer le comportement des travailleurs sur les machines. Ce retour d'expérience est cependant difficile à obtenir, particulièrement dans le cas de nouvelles machines.

5.6 Contournement des moyens de protection

Cette sous-section réfère à la section 6 de la grille d'entrevue et traite de la manière dont les fabricants s'assurent que les moyens de protection ne seront pas contournés ou neutralisés par les utilisateurs. Le contournement ou la neutralisation de moyens de protection est une pratique fréquente selon Lüken *et al.* (2006). L'étude a permis de recenser les principales causes liées à ce phénomène associé aux problèmes liés à la performance et à l'adaptabilité des interfaces humain-machine, au manque de mesures de sécurité intégrées, à l'absence de dispositifs permettant de faire les opérations de montage, de reconfiguration, de maintenance d'une façon sécuritaire et finalement à l'acceptabilité des dispositifs de protection par les employés et les responsables. La norme ISO 12100 recommande d'en tenir compte lors de la phase d'appréciation du risque.

Les solutions mises en place ou envisagées par les fabricants rencontrés, pour éviter le contournement ou la neutralisation des moyens de protection par les utilisateurs, peuvent être classées en cinq types, par ordre décroissant de popularité :

- 1) Dissuasion : utiliser des solutions techniques et matérielles visant à rendre difficile le contournement ou la neutralisation (solution évoquée par 15 des 17 fabricants). Les principales solutions techniques recensées sont évoquées de la façon suivante :
 - Vis inviolables (*tamper proof*) nécessitant un outil spécial peu courant pour démonter un protecteur ou un dispositif de protection;
 - Composants (ex. : capteurs) en redondance;
 - Interrupteurs magnétiques à aimants codés ou à puces RFID;
 - Interrupteurs mécaniques respectant le principe de l'actionnement positif;
 - Mot de passe pour accéder au programme de l'automate ou à un mode dérivation (*bypass*) nécessaire au fabricant (mode permettant de faire fonctionner l'équipement avec les mesures de prévention désactivées).
 - Tunnel d'entrée avec rideaux optiques (pour prévenir le contournement physique d'un protecteur).
- 2) Adéquation des moyens de protection : installer des moyens de protection bien adaptés aux tâches de production et de maintenance a moins de chance de constituer un obstacle, réduisant ainsi la tentation des travailleurs de s'en débarrasser (5 sur 17 fabricants). Les intervenants ont évoqué l'importance de bien concevoir les mesures de prévention pour limiter les incitations au contournement. Il s'agit, par exemple, de s'assurer d'avoir des protecteurs permettant une bonne visibilité en tout temps. Un fabricant a évoqué la possibilité de faciliter l'accès plutôt que d'installer des protecteurs fixes difficiles à démonter et remonter et qui ne seront pas remis en place. Un fabricant de machines-outils a même rendu nécessaire la présence d'un protecteur en y intégrant des commandes ainsi qu'un éclairage. L'opérateur en a besoin et ne pourra le contourner.
- 3) Formation : sensibiliser les travailleurs aux risques de telles pratiques (2 sur 17). Un fabricant affirme que *les travailleurs sont sensibilisés sur le respect des protections donc le contournement des protecteurs et dispositifs de protection n'est pas un gros défi*. Un

second fabricant estime qu'*une formation plus complète auprès des concessionnaires (responsables de la maintenance des équipements) permettrait une plus grande sensibilisation à l'effet de remettre en place les gardes de sécurité.*

- 4) Suppression du besoin : travailler dès la conception pour supprimer le besoin d'accès pour une tâche spécifique (1 sur 17). Dans cet objectif, le fabricant a, par exemple, intégré un système de graissage automatique. Il envisage aussi d'instrumenter la machine pour que les mesures qui doivent être effectuées régulièrement en cours de processus soient prises à distance. Cette solution présente aussi des avantages pour la production (pas d'interruption et meilleure justesse des mesures).
- 5) Décharge de responsabilité : un fabricant a évoqué une clause (*disclosure*) mettant en garde les utilisateurs contre de possibles mauvaises utilisations de l'équipement (1 sur 17).

Un fabricant avoue ne pas encore s'être penché sur la prévention de la neutralisation volontaire des mesures de prévention. Un autre, dont le client est l'atelier de production de la même entreprise, se préoccupe peu de cet aspect, car il est couvert par une politique interne de l'entreprise qui blâme les travailleurs qui tentent de contourner des moyens de protection.

Par ailleurs, il arrive que les clients perçoivent ces moyens de protection difficilement contournables comme pouvant empêcher le bon fonctionnement des machines et réduire la productivité. Il s'ensuit des discussions pour informer ces clients de la nécessité de la mise en place de ces moyens de protection. L'exercice peut s'avérer laborieux avec la crainte toujours présente que l'intégration d'un trop grand nombre de moyens de protection proposés puisse inciter les clients à se tourner vers d'autres fabricants.

Cependant, le contournement des mesures de prévention demeure une préoccupation majoritairement présente parmi les fabricants rencontrés. Les solutions variées ont des efficacités variables. Toutefois, plusieurs s'accordent à dire qu'il leur est difficile d'avoir un retour d'expérience de la part des clients. Or, c'est précisément en connaissant les besoins et les tendances comportementales des travailleurs qu'ils pourraient davantage anticiper et prévenir le contournement des moyens de réduction du risque.

5.7 Conception du système de commande relatif à la sécurité

Les questions de la partie 7 de la grille d'entrevue portent sur la conception du système de commande relatif à la sécurité. Les notions abordées sont la documentation utilisée par les fabricants, les principes de conception, les difficultés rencontrées, la détermination du niveau de fiabilité et la démarche de validation des circuits de commande relatifs à la sécurité.

5.7.1 La documentation utilisée

Cette sous-section réfère à la question 7.1 de la grille d'entrevue et concerne la documentation spécifique que les fabricants utilisent pour concevoir le système de commande et la fréquence de consultation des documents consultés.

Devant la difficulté d'estimer la fréquence de consultation de ces documents, l'interprétation des données se résume à savoir si le document est utilisé ou non. Les résultats sont résumés dans le tableau 5.11. Un fabricant a indiqué ne pas savoir quelle documentation est utilisée, car il sous-traite la conception du système de commande. Un seul fabricant utilise, pour un cas précis, la norme ANSI/ISA-62443 (American National Standards Institute/International Society of Automation, 2007) présentant des concepts et modèles de base liés à la cybersécurité. Les autres ne la connaissent pas.

Tableau 5.11. Utilisation de la documentation par les fabricants pour la conception d'un système de commande relatif à la sécurité

Norme ou autre document	Oui	Non	Ne sait pas
ISO 13849	9	7	1
CEI 62061	2	14	1
Manuel d'installation des dispositifs de sécurité	12	4	1
Schémas fournis par le vendeur de composants	11	4	2
CSA Z432	11	5	1
CSA Z434	8	8	1
ANSI ISA-62443*	1	11	1

* Question non abordée ou non répondue pour quatre fabricants.

Les documents les plus utilisés sont ceux liés à un composant spécifique, avec des instructions de montage et des schémas de câblage. Vient ensuite la norme canadienne CSA Z432 qui est une norme générale sur la sécurité des machines. Huit fabricants rencontrés sont concernés par les robots et utilisent la norme CSA Z434 sur le sujet. Les normes ISO 13849 et CEI 62061 sont les principales normes actuelles en ce qui a trait à la fiabilité des circuits de commande relatifs à la sécurité, sans égard à la machine. Les fabricants semblent privilégier majoritairement la première puisque seulement deux utilisent la seconde, contre neuf.

Parmi les quatre fabricants indiquant n'utiliser aucune de ces deux normes (en combinant les deux premières lignes du tableau), deux ont mentionné utiliser la norme NF EN 954, dans une autre partie de la grille de collecte de données, qui a précédé la norme ISO 13849, et qui définit les parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. De plus, le fabricant qui sous-traite la conception du système de commande a déclaré que certains utilisent la norme NF EN 954. On peut donc dire qu'une majorité de fabricants rencontrés utilise au moins partiellement les recommandations d'une des normes sur la fiabilité des systèmes de commande.

À propos des sous-traitants, seuls quatre fabricants font « toujours », « souvent » ou « rarement » appel à leurs services pour la conception du système de commande. L'un d'eux a affirmé, en parlant des normes sur les systèmes de commande relatifs à la sécurité, que beaucoup de sous-traitants ne connaissent pas ces normes. Ils ne veulent pas signer les plans et sont réticents, car ils engagent leur responsabilité professionnelle.

5.7.2 Les principes de conception des systèmes de commande relatifs à la sécurité

Cette sous-section réfère à la question 7.4 de la grille d'entrevue et concerne la fréquence d'utilisation des principes de base pour la conception des systèmes de commande relatifs à la sécurité.

Le tableau 5.12 résume les résultats en combinant les réponses « toujours », « très fréquemment » et « souvent » dans la colonne « oui » et les réponses « rarement » et « jamais » dans la colonne « non ». Contrairement au cas du paragraphe sur la documentation, lorsqu'un fabricant estime rarement utiliser un principe de conception, cela signifie qu'il s'agit d'une façon de faire trop peu utilisée pour être considérée comme un principe suivi par l'entreprise. Les résultats montrent clairement la tendance selon laquelle quelques principes de base de conception des systèmes de commande sont respectés par l'ensemble des fabricants visités.

Tableau 5.12. Principes de conception des systèmes de commande appliqués par les fabricants

Principe de conception	Oui	Non	Ne sait pas
Séparer les fonctions de sécurité des fonctions de commande standards	14	1	1
Utilisation de composants certifiés pour assurer des fonctions de sécurité	15	0	1
Utilisation de surdimensionnement	8	7	2
Utilisation de composants en redondance	13	1	2

Note : Ces questions n'ont pas pu être abordées chez un des 17 fabricants visités faute de disponibilité de personnes compétentes pour y répondre le jour de la visite.

5.7.3 Les difficultés exprimées par les fabricants

Cette sous-section réfère à la question 7.5 de la grille d'entrevue et vise à connaître les difficultés rencontrées par les fabricants lors de la conception des systèmes de commande relatifs à la sécurité.

Les difficultés exprimées sont de natures diverses et se regroupent en six grands types. Le tableau 5.13 illustre chacun des types de difficultés à l'aide des commentaires recueillis.

Tableau 5.13. Liste des difficultés liées à la conception des systèmes de commande relatifs à la sécurité

Difficulté	Détail et exemple (citation)
Technique	<p>« Pour la détection en bout de bras du robot, les dispositifs sont parfois trop volumineux, de plus, ils nécessitent du câblage qui, lui aussi, occupe un volume non négligeable (sachant que l'espace est souvent restreint) »;</p> <p>« Parfois, la fiabilité des dispositifs n'est pas connue ou trop faible, donc il en faut en redondance (2 fois plus de volume) »;</p> <p>« Pour le DCS dynamique, il faut tenir compte de la taille des outils, ce qui peut s'avérer être un casse-tête »;</p> <p>« Peu de composants de sécurité existent pour les circuits hydrauliques »;</p> <p>« Ce sont les aspects physiques de la machine qui amènent le plus de difficultés en conception. »</p>
Financière	« Le prix des composants dédiés à la sécurité peut être prohibitif. »
Liée au client	<p>« Les clients peuvent exiger d'utiliser des composantes particulières »;</p> <p>« Les besoins et demandes des clients évoluent durant le projet, sans compter les éventuels oublis de leur part. »</p>
Propre au sur-mesure (<i>custom</i>) et aux nouvelles machines	<p>« Il est difficile de développer une expérience avec une marque ou un composant particulier. C'est toujours différent. Il faut comprendre et s'adapter à la technologie et à son utilisation »;</p> <p>« Difficile d'avoir les bonnes informations au départ pour faire une évaluation adéquate, car il n'y a pas d'opérateur connaissant la machine. »</p>
Qualifications et connaissances nécessaires	<p>« C'était plus difficile au début pour se familiariser avec les catégories. C'est mieux maintenant, avec l'expérience et la mise en place de modèles utilisés systématiquement »;</p> <p>« Les sous-traitants ne connaissent pas ces normes. Ils ne veulent pas signer les plans et sont réticents, car ils engagent leur responsabilité professionnelle »;</p> <p>« Certains sous-traitants ne connaissent pas la norme ISO 13849 et appliquent encore la norme EN 954 »;</p> <p>« La formation nécessaire du personnel de conception pour bien intégrer les composants. Actuellement c'est Monsieur A qui doit vérifier et signer à lui seul tous les documents. »</p>
Délais	« On manque de temps et les délais de conception et de fabrication s'expliquent par le temps nécessaire pour identifier et atteindre les niveaux de sécurité que les normes exigent. »
Autres	« Équilibre entre le raisonnable et la sursécurisation pas toujours évident. »

5.7.4 La détermination du niveau de fiabilité et la validation du circuit de commande relatif à la sécurité

Cette sous-section réfère à la question 7.6 de la grille d'entrevue et vise à savoir si les fabricants déterminent le niveau de performance requis (PL selon la norme ISO 13849) ou le *Safety Integrity Level* requis (SIL selon la norme CEI 62061) pour chaque fonction de sécurité.

À cette question, 10 fabricants ont répondu « oui » et sept ont répondu « non ». Ces réponses doivent être nuancées, car :

- Plusieurs fabricants ne le font pas pour chaque fonction de sécurité, mais seulement pour celles qui sont liées aux risques les plus élevés et appliquent les mêmes exigences de fiabilité pour l'ensemble de la machine;
- D'autres savent par expérience quel niveau de fiabilité est requis puisqu'ils fabriquent la même machine depuis des années;
- Un fabricant affirme que la norme spécifique concernant le type de machine qu'il fabrique prescrit une même catégorie pour l'ensemble des fonctions de sécurité.

Utiliser les mêmes composantes pour toutes les fonctions de sécurité d'une machine nécessite que le niveau de fiabilité soit supérieur au niveau requis pour plusieurs fonctions de sécurité. Bien que ces composantes soient plus chères, les acheter en grande quantité permet de faire une économie d'échelle qui atténue la différence de prix. De plus, moins de temps est consacré aux calculs de fiabilité, ce qui est aussi plus économique.

En ce qui concerne la validation du circuit de commande, deux fabricants disent ne pas avoir de démarche pour le faire pour l'instant. Les autres fabricants décrivent deux types de démarches qu'ils suivent pour valider le circuit de commande relatif à la sécurité :

- Faire des tests de fonctionnement (10 sur 17) : il s'agit simplement de vérifier que chaque dispositif de protection provoque l'effet escompté. Deux fabricants vérifient aussi le comportement du circuit en cas de défaut;
- Validation théorique du circuit (9 sur 17) : les plans du circuit de commande sont contre-vérifiés, par exemple par une tierce personne (un ingénieur) à l'interne ou à l'externe, pour s'assurer du respect des principes énoncés dans la norme utilisée en référence. Deux fabricants utilisent le logiciel SISTEMA pour comparer le niveau de fiabilité (PL) réel à celui requis.

Certains fabricants combinent les deux vérifications (5 sur 17), d'autres privilégient les tests de fonctionnement uniquement (6 sur 17) ou la validation théorique du circuit uniquement (4 sur 17).

5.8 Prise en compte de la maintenance durant la conception

Les questions de la partie 8 de la grille d'entrevue portent sur la prise en compte des activités de maintenance dès la conception de la machine, de manière de réduire les risques associés à ces activités. Six points de prise en compte pour la maintenance sécuritaire des machines ont été relevés. Le tableau 5.14 résume les résultats en combinant les réponses « toujours », « très fréquemment » et « souvent » dans la colonne « oui » et les réponses « rarement » et « jamais » dans la colonne « non ».

Tableau 5.14. Points pris en compte par les fabricants pour la maintenance sécuritaire des machines

Point pris en compte	Oui	Non	Ne sait pas
Le positionnement des points d'isolement des sources d'énergie (localisation, accès)	16	1	0
La mise en place d'un dispositif d'isolement pour chaque source d'énergie	17	0	0
Que tous les dispositifs d'isolement soient cadenassables	17	0	0
Le positionnement des points de maintenance	12	5	0
Un mode de commande spécifique pour la maintenance	13	4	0
Méthodes alternatives au cadenassage	3	14	0

Les solutions pour permettre et faciliter le cadenassage sont largement mises en œuvre par les fabricants. Les méthodes alternatives au cadenassage (méthode de contrôle des énergies autre que le cadenassage) ne sont abordées que par trois fabricants sur les 17. Dans une moindre mesure, les deux points visant à faciliter la maintenance sont également bien considérés : respectivement 12 et 13 sur 17 pour le positionnement des points de maintenance et pour un mode de commande spécifique pour la maintenance. Un des fabricants avoue ne pas encore prendre en compte les tâches de maintenance lors de l'analyse du risque, bien qu'il applique 5 des 6 points liés à la maintenance « très fréquemment » ou « souvent ».

5.9 Ergonomie et hygiène industrielle

Les questions de la partie 9 de la grille d'entrevue abordent, dans l'ordre, les notions d'ergonomie, de bruit et de produits contaminants qui sont pris ou non en compte lors de la conception des machines.

5.9.1 Les aspects liés à l'ergonomie

Cette sous-section réfère aux questions 9.1 et 9.2 de la grille d'entrevue et vise à savoir de quelles manières les fabricants tiennent compte des aspects ergonomiques lors de la conception de leurs machines et à quel degré ils sont préoccupés par ces aspects ergonomiques.

Les réponses obtenues permettent de faire ressortir quelques façons de faire, mais également de mettre en lumière les principaux points que les fabricants considèrent pour la prévention des risques liés à l'ergonomie. Certains principes ont également pu être observés sur les machines présentes en atelier.

En premier lieu, les méthodes ou façons de faire pour considérer l'ergonomie durant la conception se résument en cinq points :

- Respecter les normes;
- Former ou initier les concepteurs aux principes de base de l'ergonomie;
- Recourir ponctuellement à un ou une ergonome à l'externe;
- Utiliser des mannequins virtuels dans les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) pour vérifier les dimensions, les zones d'atteinte ou encore repérer d'éventuels obstacles aux mouvements des travailleurs;
- Aborder des points à respecter concernant l'ergonomie dans la grille d'analyse du risque.

Certains fabricants combinent plusieurs de ces méthodes, d'autres en utilisent une seule. Trois fabricants disent ne pas faire d'analyse spécifique pour tenir compte de l'ergonomie du poste de travail. Cependant, les autres n'ont pas mentionné faire d'analyse de poste de travail en bonne et due forme, notamment une analyse de l'activité. Les principaux points considérés par les fabricants sont :

- Les dimensions des postes de travail (ex. : le positionnement de l'interface humain-machine, l'espace de dégagement, les zones d'atteinte);
- L'ergonomie cognitive (ex. : pour la clarté des panneaux de commande et la facilité de compréhension des autocollants, ou *stickers*, d'avertissement de danger);
- La visibilité, autant pour l'intérieur de la machine que pour l'extérieur pour permettre de voir les alentours;
- L'accès aux différentes parties de la machine (ex. : poste d'opérateur, poste de maintenance);
- La facilité pour le démontage et le montage de pièces fréquemment changées (ex. : réduire l'effort et les manipulations nécessaires).

Ces résultats sont corroborés par les réponses à la question 9.2 de la grille d'entrevue. Ils sont résumés dans le tableau 5.15. Les réponses « très fortement préoccupé », « fortement préoccupé » et « moyennement préoccupé » sont combinées dans la colonne « oui » et les réponses « peu préoccupé » et « pas du tout préoccupé » dans la colonne « non ».

D'après ces résultats, les fabricants se préoccupent autant des postures de travail des opérateurs que de celles des techniciens de maintenance. Enfin, les problématiques liées à la chaleur ne sont pas un enjeu pour la plupart des fabricants rencontrés, car leurs machines respectives n'en émettent pas ou peu.

Tableau 5.15. Préoccupations ergonomiques des fabricants

Préoccupation ergonomique	Oui	Non	Non applicable ou ne sait pas
Posture de travail des opérateurs	11	3	3
Postures de travail des techniciens de maintenance	12	4	1
Nombre d'outils nécessaires pour la maintenance	7	7	3
Adaptation de la machine aux opérateurs	14	3	1
Aide à la manutention (crochets de levage)	11	3	3
Facilité pour changer les outils de production	13	2	2
Ergonomie cognitive (signalisation, prévention des erreurs)	16	0	1
Facilité d'accès aux différentes parties de la machine (ex. : monter sur un moule d'une presse)	12	1	4
Visibilité	14	1	2
Chaleur	5	3	9
Éclairage des zones de travail	13	2	2
Dégagement, espace de travail	13	1	3

5.9.2 Les aspects liés au bruit

Cette sous-section réfère à la question 9.3 de la grille d'entrevue et vise à savoir de quelles manières les fabricants tiennent compte du bruit lors de la conception de leurs machines.

Le tableau 5.16 montre que la plupart des fabricants affirment ne pas être préoccupés par le niveau de bruit généré par le fonctionnement de leurs machines. Malgré cela, un certain nombre d'entre eux expriment se soucier du choix des matériaux, de la modification des procédés, de faire appel aux panneaux acoustiques et de proposer le port d'équipements de protection individuelle (ÉPI).

Tableau 5.16. Préoccupations des fabricants face au bruit

Préoccupation face au bruit	Oui	Non	Non applicable ou ne sait pas
Choix des matériaux	5	12	0
Modification du procédé de fabrication	2	15	0
Recouvrir la machine de panneaux acoustiques	4	13	0
Les solutions précédentes sont impossibles ou insuffisantes si bien qu'il est conseillé d'avoir recours aux équipements de protection individuelle (ÉPI)	6	11	0

Les solutions listées ci-dessous ont chacune été évoquées par un ou deux fabricants :

- Installer un silencieux pour la ventilation;
- Poser un silencieux sur une valve pneumatique;
- Utiliser le cadre de la machine comme système d'échappement;
- Définir le niveau sonore comme un critère de choix des composantes (ex. : pompe, courroie).

En ce qui concerne la recommandation d'utiliser des ÉPI, alors qu'un fabricant s'oblige à limiter le niveau sonore en deçà de la limite nécessitant des protections auditives (par exemple, 90 dBA pour huit heures d'exposition au Québec), d'autres considèrent qu'il est du ressort du client d'en recommander le port à ses employés si le niveau sonore l'exige.

5.9.3 Les aspects liés aux produits contaminants

Cette sous-section réfère à la question 9.4 de la grille d'entrevue et vise à savoir de quelles manières les fabricants tiennent compte des aspects des contaminants, ceux qui sont utilisés dans les procédés et ceux émis lors du fonctionnement des machines, lors de leurs phases de conception.

Les réponses données montrent que 10 des 17 fabricants proposent des solutions pour réduire l'émission ou l'utilisation de produits contaminants. Ces solutions sont énumérées ci-dessous et sont parfois combinées à plusieurs autres.

- Confinement;
- Système d'aspiration à la source et de filtration;
- Consignes pour la ventilation ou ventilation intégrée;
- Aspiration des vapeurs d'huile;
- Filtre pour le liquide de refroidissement (pour une machine d'usinage, récupère l'huile pour éviter la formation d'une couche imperméable créant des « poches » sans oxygène favorisant le développement de toxines);
- Pression négative;

- « Design favorisant le nettoyage impliquera que moins de produits contaminants (savon) seront utilisés. » (Secteur agroalimentaire);
- Nettoyage fréquent lorsque la poussière est le « contaminant »;
- Déshumidification l'été;
- Contrôle de l'air ambiant;
- Utilisation d'outils qui ne nécessitent pas de lubrifiant, sauf demande autre du client auquel cas le fabricant s'assurera de limiter les quantités nécessaires.

De ces 11 propositions, deux visent à réduire l'utilisation de contaminants. Les autres servent à contrôler leurs émissions dans l'environnement.

5.10 Prise en compte des phases autres que l'utilisation normale de la machine

L'unique question de la partie 10 de la grille d'entrevue porte sur les manières dont les fabricants s'y prennent pour s'assurer de la sécurité des travailleurs lors du montage, de l'installation, des essais, des tests et de la mise en service des machines qu'ils développent et fabriquent alors que les protections ne sont pas encore installées. Cette même question s'applique alors que les machines sont mises en service chez le client.

Dans le cycle de vie d'une machine, la phase la plus longue, et donc celle qui est la plus considérée lors de la conception, est la phase d'utilisation. Elle comprend l'exploitation et la maintenance. Par conséquent, les risques considérés et les mesures de réduction des risques mises en place touchent principalement les activités d'exploitation et de maintenance et visent à protéger la santé et la sécurité des utilisateurs. Or, la norme ISO 12100 recommande de considérer aussi les phases suivantes : transport, montage et installation, mise en service et démontage, mise hors service et mise au rebut. Ces phases sont critiques notamment parce que les mesures de réduction des risques ne sont pas encore installées ou fonctionnelles et que les travailleurs concernés ne sont pas ceux qui utiliseront la machine au quotidien.

Les réponses des fabricants à la question portant sur la façon dont ils assurent la sécurité des travailleurs lors de ces phases du cycle de vie des machines qu'ils conçoivent sont résumées dans le tableau 5.17.

Les solutions les plus courantes avancées par les fabricants sont l'application de procédures ou méthodes de travail, ainsi que la signalisation et la limitation des accès dans les zones de montage. Par ailleurs, d'après les réponses des fabricants, seules les dispositions techniques pour le montage font l'objet d'une analyse en cours de conception. Un des intervenants a dit : *Nous sommes de plus en plus conscients qu'il faut aussi considérer nos propres employés.*

L'organisation des entreprises est telle que la responsabilité de la sécurité des travailleurs du fabricant lui-même revient à un atelier autre que celui en charge de concevoir les machines. Cela fait en sorte que seuls sont considérés lors de la conception les éléments ayant une influence à l'extérieur du cadre du fabricant : tout ce qui a trait, d'une part, au transport et à la manutention de la machine et, d'autre part, à l'utilisation de la machine.

Tableau 5.17. Moyens de réduction des risques lors des phases de transport, de montage, d'installation et de démantèlement

Type de solution	Exemple (extrait des données collectées)
Procédure ou méthode de travail (12 fabricants sur 17)	<ul style="list-style-type: none"> – Procédures d'assemblage; – Application de procédures dans l'atelier de fabrication; – Procédure de déménagement; – Cadenassage appliqué lors des travaux d'installation.
Signalisation, restriction d'accès (8/17)	<ul style="list-style-type: none"> – Clôtures temporaires; – Périmètre de sécurité (cônes orange, banderoles); – Pancartes; – Délimitation de zones au sol.
Formation, communication (5/17)	<ul style="list-style-type: none"> – Instructions pour démonter l'équipement; – Communication conçue pour interdire la neutralisation de sécurités; – Formation des travailleurs pour le montage des machines; – Indications inscrites sur les caisses qui transportent les équipements afin qu'ils soient déplacés, manipulés et installés correctement; – Informations visuelles sur la machine; – Information complète dans le manuel d'opération et de maintenance (quand ce n'est pas le fabricant lui-même qui fait le montage et l'installation).
Moyens de réduction du risque techniques temporaires (4/17)	<ul style="list-style-type: none"> – Clôtures ou zones de sécurité temporaires; – Dispositifs de sécurité temporaires (ex. : rideau optique); – Protectors temporaires; – Ajout d'arrêts d'urgence temporaires; – Conception de protecteurs temporaires pour l'assemblage et les tests; – Utilisation de caméras haute vitesse à l'essai (évite de devoir ouvrir le protecteur pour vérification visuelle).
Test de fonctionnement des moyens de protection (3/17)	<ul style="list-style-type: none"> – Audit de sécurité avant le démarrage; – Tests systématiques des arrêts d'urgence par les employés.
Analyse du risque (2/17)	<ul style="list-style-type: none"> – Analyse du risque en cours pour les risques électriques lors du montage (les risques mécaniques et autres seront abordés plus tard); – Formation récente d'un comité SST qui se penche sur les questions de sécurité lors du montage des machines dans l'atelier; – Analyse effectuée pour déterminer comment doit s'effectuer l'installation lors de la phase de conception (ex. : levage, centre de gravité, points d'attache).
Dispositions techniques pour le transport (2/17)	<ul style="list-style-type: none"> – Présence de crochets de levage et explications du coordonnateur sur la manière de sortir les composantes de la machine de leurs boîtes de transport; – Détermination, à différents endroits, de zones d'insertion pour que les fourches du chariot élévateur puissent soulever les sections de la machine.
Utilisation des moyens de réduction du risque de la machine (2/17)	<ul style="list-style-type: none"> – Interdiction de faire fonctionner les machines tant que les arrêts d'urgence ne sont pas fonctionnels; – Utilisation de la poignée de validation; – Présence d'un mécanisme manuel pour empêcher le plateau de coupage de descendre par lui-même.

5.11 Industrie 4.0

Les questions de la partie 11 de la grille d'entrevue portent sur l'industrie 4.0 (quatrième révolution industrielle) et visent à connaître comment les fabricants perçoivent leur position face à l'avènement de cette quatrième révolution industrielle et comment ils s'y préparent.

Les entrevues chez les fabricants rencontrés permettent de distinguer trois types de perception en ce qui a trait à l'industrie 4.0. Il est à noter que ce sujet n'a pas été abordé chez un des fabricants rencontrés. Les trois types sont :

1. Ceux dont les projets sont en phase d'apprentissage, qui ont des concepts en place, en cours de développement, mais qui ne les ont pas encore concrétisés. Parmi les 16 fabricants, 10 adhèrent à cette catégorie;
2. Ceux pour lesquels des technologies de l'industrie 4.0 sont déjà disponibles sur leurs machines. C'est même le cas depuis un certain temps pour certaines machines, comme les centres d'usinage, avec lesquels il est possible de faire de la recherche de défauts à distance et de prévoir la maintenance grâce à de nombreux capteurs. Parmi les 16 fabricants, cinq adhèrent à cette catégorie;
3. Ceux qui considèrent pour l'instant que l'industrie 4.0 n'est pas encore une avenue à considérer dans la conception, mais qui l'envisagent dans un futur un peu plus éloigné. Parmi les 16 fabricants, un seul adhère à cette catégorie.

En ce qui concerne les éventuels effets des nouvelles technologies associées à cette quatrième révolution industrielle, la réflexion n'est pas encore véritablement menée par rapport aux enjeux de santé et de sécurité du travail. Il semble, en effet, que les intervenants rencontrés expriment plus leurs ressentis personnels à la suite d'une rapide considération sur la question au moment d'y répondre. En résumé, ils estiment que les risques présents seront les mêmes (ex. : une zone d'écrasement reste une zone d'écrasement), mais que la différence sera du côté du contrôle des mouvements des parties mobiles de la machine (du point de vue du travailleur).

Outre la possibilité de piratage de la machine, ces technologies pourraient techniquement permettre d'activer la machine à distance (pour une recherche de défauts, par exemple) alors qu'un travailleur se trouve dans sa zone dangereuse. Selon les intervenants, si les dispositifs de sécurité présents sur la machine restent prioritaires par rapport aux autres commandes, les effets des nouvelles technologies seraient mineurs pour la sécurité du travail. Néanmoins, l'automatisation grandissante des systèmes peut rendre plus difficile leur sécurisation : *...plus c'est automatisé, plus c'est difficile à sécuriser...* selon leurs propos. L'avènement des robots dits « collaboratifs » laisse aussi imaginer d'autres interactions humain-machine, selon un intervenant. Or, c'est une problématique qui n'est pas réglée, d'après les recherches récentes (Tihay, 2018; Jocelyn *et al.*, 2017).

Un intervenant voit aussi l'arrivée de l'industrie 4.0 comme un avantage potentiel d'un point de vue santé et sécurité du travail. Les nouvelles technologies comportent plusieurs capteurs et fournissent des données massives. Il y voit donc potentiellement une source d'informations précieuses à exploiter pour améliorer la sécurité des machines.

6. DISCUSSION ET CONCLUSION

Cette étude jette un éclairage sur les pratiques réelles qui relèvent des processus développés à l'interne, de l'utilisation d'outils spécifiques, du recours à des ressources externes et d'autres considérants chez les fabricants de machines. Elle permet également de mieux comprendre les besoins des concepteurs en lien avec l'intégration de la sécurité dès la conception des machines, de mesurer la réelle adéquation des nombreuses normes auxquelles les équipes de conception doivent se référer pour répondre au cadre réglementaire et aux besoins des clients en matière de santé et sécurité. Aussi, cette étude permet d'identifier les différents moyens déployés par les fabricants afin de répondre aux besoins exprimés par les clients.

La discussion suivante découle de réflexions émanant des visites sur le terrain, mais aussi de discussions avec les membres du comité de suivi de l'étude.

6.1 Discussion

6.1.1 Pratique des fabricants de machines en matière de sécurité : faits saillants

Les 17 fabricants rencontrés au Québec intègrent la sécurité dès la conception de leurs machines destinées à des secteurs industriels variés (cf. tableau 5.3). Le processus de conception consiste généralement en des allers-retours entre le fabricant et son client. D'abord, le fabricant questionne le client pour l'aider à établir le cahier des charges. Ensuite, des visites permettent au fabricant de vérifier que les besoins du client sont comblés. Des professionnels de divers horizons gravitent autour des équipes de conception de ces machines (cf. tableau 5.2). D'une manière générale, au moins un ingénieur fait partie de l'équipe de conception. Il s'agit d'une constatation positive, considérant que l'Ordre des ingénieurs du Québec (OIQ) fait de la sécurité des machines une pratique réservée au génie.

En matière de sécurité des machines, la sous-section 5.5.1 permet de déduire que les fabricants rencontrés comprennent généralement bien la hiérarchie des moyens de réduction du risque préconisée par la norme générale ISO 12100, en plus de la mettre en pratique. Ce constat et le fait que 14 des 17 fabricants exécutaient une démarche formelle documentée d'appréciation du risque comprenant les quatre étapes préconisées par l'ISO 12100 : 1) détermination des limites de la machine, 2) identification des phénomènes dangereux, 3) estimation du risque, 4) évaluation du risque, montrent que l'échantillon de fabricants se compose de participants soucieux de prendre en compte la SST dès la conception. Notons que les fabricants n'ont pas été sélectionnés en fonction de leurs performances en sécurité des machines. Certains des critères de sélection (cf. section 4.1) ont pu influencer le type d'entreprises participantes. Par exemple, elles devaient concevoir et fabriquer des machines pour leur propre compte. Ces machines devaient comprendre un système de commande autre qu'un simple interrupteur de mise en marche. Il est possible que ce critère en particulier ait favorisé la participation d'entreprises ayant une structure de développement de produit relativement évoluée et donc plus au fait des bonnes pratiques en matière de sécurité des machines. Par conséquent, il est envisageable que le portrait aurait été différent si des entreprises fabriquant des équipements plus simples avaient été rencontrées.

Si les fabricants rencontrés comprenaient le processus hiérarchique de réduction du risque, la plupart de leurs clients se cantonnaient à respecter le minimum des exigences réglementaires. Plusieurs clients demandaient de niveler vers le bas la sécurité de la machine à concevoir (cf. section 5.5.2). Conséquemment, plusieurs des fabricants faisaient signer à leurs clients une décharge de responsabilité. À cet égard, il incombe à ces fabricants de s'assurer du caractère légal de cette pratique considérant la portée des lois en vigueur. Par exemple, l'article 66 de la LSST :

Lorsque la Commission est d'avis qu'un produit, un procédé, un équipement, un matériel, un contaminant ou une matière dangereuse peut mettre en danger la santé ou la sécurité d'un travailleur, elle peut ordonner que sa fabrication, sa fourniture, son utilisation ou toute activité susceptible d'émettre ce contaminant soit prohibée ou restreinte aux conditions qu'elle détermine.

En général, des modifications apportées à une machine, sans l'aval du fabricant, rendent caduques les garanties. En outre, dans pareil contexte, la responsabilité est transférée au client s'il modifie la machine que lui a livrée le fabricant.

Rares sont les clients des fabricants rencontrés qui demandent l'ajout de moyens de protection. Dans un cadre législatif québécois où l'objectif principal de la LSST est l'élimination du danger à la source, devant le risque de voir un inspecteur de la CNESST apposer un scellé sur une machine non suffisamment sécuritaire, il est surprenant que des clients nivellent la sécurité vers le bas. C'est d'autant plus surprenant que l'article 51 de la LSST rend l'utilisateur de la machine (le client) responsable de la sécurité des équipements qu'il fournit à ses employés. En revanche, ce constat peut s'expliquer par les coûts générés par la mise en place de moyens de protection, bien qu'au final il soit plus économique d'acquérir un équipement sécuritaire que de modifier un équipement pour le rendre sécuritaire. Plusieurs fabricants se trouvent face à un dilemme dans lequel leurs clients souhaitent un prix compétitif avec les protections requises. La sécurité et les coûts sont souvent des facteurs antagonistes. Afin de limiter les coûts, des protecteurs sont souvent privilégiés par rapport à des dispositifs de protection comme les scrutateurs laser. Heureusement, dans ce cas, la hiérarchie de réduction du risque reste préservée. Se baser sur des normes pour la réglementation permettrait de baliser davantage les critères de sécurisation des machines. Ce serait ainsi une manière d'uniformiser les niveaux de sécurité d'une machine à l'autre. Cette solution atténuerait le facteur financier tout en obligeant les clients à se munir de machines sécuritaires, car la sécurité ne devrait pas être une option. Cependant, certains fabricants privilégient la sécurité pour se façonner une image de marque qui les distingue de leurs concurrents. En effet, ces fabricants ont réussi à intégrer des mesures de réduction du risque efficaces de façon telle que leurs équipements en deviennent même plus faciles d'utilisation que ceux des concurrents.

Rappelons que l'ensemble des fabricants rencontrés appliquaient la hiérarchie de réduction du risque d'accident pour la phase de production, allant de la prévention intrinsèque à l'information pour l'utilisation. Les fabricants adoptent des mesures pour sécuriser également la phase de maintenance, par exemple en facilitant le cadenassage ou en intégrant un mode de commande spécifique. Toutefois, contrairement à la production et la maintenance, les phases de montage, d'installation et de démantèlement ne sont pas considérées dans la conception. Chez 12 fabricants sur 17, les procédures ou méthodes de travail constituent le principal moyen de réduction du risque pour ces phases, par opposition aux moyens techniques : 2 à 4 sur 17.

Ainsi, la sécurité durant les autres phases du cycle de vie de la machine demeure un aspect très peu considéré lors de la conception des machines.

Enfin, la sous-section 5.9 porte sur l'hygiène industrielle. Elle montre que les fabricants rencontrés accordent plus d'importance aux aspects ergonomiques qu'à ceux liés au bruit et aux produits contaminants. Le bruit et les produits contaminants ne constituent pas des risques prépondérants sur les machines conçues par la plupart des fabricants rencontrés. Concernant l'ergonomie, ils s'attardent surtout aux facteurs humains comme la visibilité et l'adaptation de la machine aux opérateurs (ex. : réglage de la position d'un panneau de commande).

6.1.2 Besoins des fabricants de machines en matière de sécurité : faits saillants, recommandations et pistes

La prévention du contournement des moyens de protection est une préoccupation des fabricants qui doivent doser les mesures de prévention afin de les rendre stables et pérennes, tout en permettant à l'utilisateur de faire face à certaines situations particulières. Pour l'instant, la technique de la dissuasion reste la plus répandue. Plusieurs ont mentionné la difficulté d'obtenir un retour d'expérience de la part des utilisateurs pour mieux limiter le contournement. La littérature contient des informations sur les incitatifs et solutions au contournement des moyens de protection que les fabricants gagneraient à connaître (Haghighi, Chinniah et Jocelyn, 2018).

Une solution pour limiter le contournement est de rendre la machine conviviale et sécuritaire tout en étant adaptée à la réalité des travailleurs. Cette voie constitue également une contrainte de production imposée par certains clients dans le but de favoriser la rétention de la main d'œuvre. Une machine facile d'utilisation encourage le travailleur à demeurer à l'emploi du client, ce qui pourrait constituer un avantage dans des périodes de pénurie de main-d'œuvre. Des contraintes du genre, tout comme les autres citées à la suite du tableau 5.10, montrent la complexité que doivent surmonter les fabricants face à leur client, en matière de prise en compte de la sécurité dès la conception. Cette complexité vient du fait que chaque contrainte cumulée demande au fabricant de revoir la conception de la machine, ce qui engendre une hausse des coûts difficilement acceptable par le client.

L'équilibre précaire entre la sécurité, la fonctionnalité et le coût des machines a été rapporté par plusieurs des intervenants rencontrés. Pour aider les fabricants et les acheteurs de machines à mieux communiquer leurs contraintes et leurs besoins respectifs en matière de sécurité des machines, il pourrait être approprié d'évaluer la pertinence de leur fournir un guide. Cela pourrait être un devis type pour les fabricants, et un document d'appel d'offres types pour les acheteurs. Ces deux documents contiendraient les informations pertinentes relatives à la sécurité que le fabricant et l'acheteur devraient prendre en compte. Toutefois, une étude complémentaire visant les acheteurs de machines devrait être réalisée au préalable.

En matière de normalisation, le suivi et la mise à jour des normes applicables demeurent une préoccupation pour les fabricants qui peinent à se tenir à jour. Ils doivent composer avec une abondante documentation à laquelle ils doivent se référer pour la conception de certaines machines. La difficulté n'est pas tellement d'obtenir les normes, mais plutôt de savoir lesquelles sont réellement utiles pour la conception de leurs machines.

Plus particulièrement, les fabricants ont développé des façons de faire pour simplifier le travail de mise en conformité aux normes applicables à la conception des systèmes de commande relatifs à la sécurité. Par exemple, pour des raisons économiques, ils utilisent les mêmes composants pour toutes les fonctions de sécurité d'une machine, tout en adoptant un niveau de fiabilité supérieur au niveau requis pour plusieurs fonctions. Toutefois, la grande complexité des deux normes actuelles (ISO 13849 et CEI 62061) reste un défi majeur pour ces entreprises. L'incertitude des concepteurs sur le plan du respect complet de ces normes dans les équipements qu'ils fabriquent était notable lors des visites. Dans le cas de l'ISO 13849, la partie 2 de cette norme (partie traitant de la validation des fonctions de sécurité) est souvent inconnue des fabricants. Cet élément devrait être communiqué au comité de normalisation concerné. Une autre remarque exprimée par un fabricant pour le comité de normalisation serait d'adapter les exemples de la norme ISO 13849 aux évolutions technologiques et de les rendre plus pratiques et concrets.

La norme ISO 13849 est plus utilisée que la norme CEI 62061. Les fabricants utilisent davantage des documents vulgarisés (cf. manuels et schémas au tableau 5.11) pour concevoir un système de commande relatif à la sécurité. Ajoutée à ces constats, l'absence de guides à jour montre la nécessité de disposer d'un guide illustré d'exemples concrets capables de simplifier l'application de la norme. Un tel guide pourrait notamment inclure des éléments sur la conception des fonctions de sécurité conformément à l'ISO 13849-1, mais aussi sur leur validation selon l'ISO 13849-2. D'ailleurs, l'étude a mis en évidence le fait que peu de fabricants utilisent, voire connaissent, le contenu de l'ISO 13849-2 qui gagnerait à être intégré à l'ISO 13849-1.

Enfin, à propos de l'industrie 4.0, la grande majorité des fabricants était soit en phase d'apprentissage des concepts véhiculés par cette quatrième révolution industrielle, soit leurs machines comportaient déjà des technologies mises de l'avant par cette révolution (ex. : capteurs assurant l'interconnexion avec d'autres équipements ou objets). Une préoccupation importante des fabricants face à cette connectivité était le risque de piratage de la machine capable qui pourrait empêcher le travailleur d'avoir le contrôle de sa machine. Par ailleurs, un des fabricants perçoit la connectivité comme une opportunité pour améliorer la SST. Dans la même optique, la réalité augmentée, autre technologie mise de l'avant par l'industrie 4.0, peut représenter un moyen pertinent pour anticiper et mieux appréhender les contraintes ergonomiques créées par d'autres machines dans l'environnement de travail.

6.2 Conclusion

Contrairement aux études terrain qui abordent généralement la sécurisation de machines en exploitation, ce rapport traite de l'intégration de la sécurité par les fabricants de machines dès leur conception. Cette étude est en adéquation avec l'objectif ultime de la LSST : l'élimination du danger à la source.

Conformément à son objectif général, cette étude exploratoire a permis de mieux comprendre les pratiques et les besoins de 17 fabricants de machines au Québec pour la sécurisation de leurs produits. Malgré l'échantillon restreint, l'étude permet de se faire une idée du portrait de la situation. Cependant, ce portrait positif quant aux connaissances des fabricants rencontrés à l'égard de la sécurité et le fait que ces connaissances transparaissent dans leur travail de conception ne représentent pas l'état de la sécurité des machines au Québec. Bon nombre de

machines utilisées dans la province n'y sont pas nécessairement fabriquées. De plus, nombre de machines actuellement en utilisation au Québec comportent des lacunes au niveau de la sécurité (Chinniah, 2015). Ces machines sont plus anciennes alors que la présente étude a porté sur des machines neuves. Retenons les points les plus problématiques auxquels font face les fabricants de ces machines :

- prévenir le contournement des moyens de protection;
- gérer les risques durant les phases de montage, d'installation, de tests et de mise en service;
- assurer le suivi et la mise à jour des normes applicables;
- concevoir et valider des systèmes de commande relatifs à la sécurité;
- sensibiliser leurs clients à la sécurité des machines.

Parmi ces problématiques, rappelons que le contournement des moyens de protection et une modification du système de commande relatif à la sécurité figurent parmi les facteurs accidentels mentionnés dans l'état des connaissances (cf. section 2).

Un outil global (informatisé, par exemple) intégrant la sécurité du travail ou plusieurs outils destinés chacun à une des problématiques identifiées par l'étude semblent requis. Comme des professionnels de profils divers gravitent autour de la conception et de la fabrication des machines, ces outils cibleraient différents utilisateurs en plus des ingénieurs. D'ici à ce qu'un tel outil soit développé, quelques axes d'améliorations envisageables correspondant aux cinq problématiques susmentionnées sont proposés ci-après.

- À partir d'un recensement de pratiques de contournement illicites de moyens de protection, un outil « aide-mémoire » pourrait lister des questions invitant l'utilisateur ou le concepteur de la machine à vérifier si telle pratique de contournement est rencontrée ou praticable sur la machine à l'étude. Auquel cas, cet outil pourrait même aller jusqu'à proposer des pistes de solutions propres à chaque pratique ou type de pratique de contournement observée ou envisageable.
- Comme mentionné à la section 5.4.1, la sécurité des machines appartient au champ de pratique des ingénieurs au Québec. Il serait donc pertinent d'intégrer des cours de gestion des risques technologiques ou liés aux machines, à la formation universitaire de tout ingénieur au Québec. Ces cours devraient être empreints de l'apprentissage des documents législatifs et réglementaires en vigueur en matière de sécurité. Ainsi, lorsque viendra le temps pour eux de concevoir ou fabriquer des équipements, les ingénieurs pourront faire face plus facilement à la gestion des risques durant les diverses phases du cycle de vie d'une machine.
- Quant au suivi et à la mise à jour des normes applicables, savoir qu'une norme est généralement révisée tous les trois à cinq ans est un élément précieux d'information pouvant éveiller l'attention de la personne qui l'utilise. Il faudrait que tout utilisateur de norme développe le réflexe de vérifier si une norme est à jour, par le simple questionnement suivant : « Est-ce que le délai de trois à cinq ans est rencontré pour la version de cette norme? »

- Dans le cas de la conception et de la validation des systèmes de commande relatifs à la sécurité, un guide illustrant une démarche vulgarisant concrètement la partie « conception » de la norme (ISO 13849-1) et sa partie « validation » (ISO 13849-2), pour des circuits aux technologies diverses, outillerait les fabricants du Québec. En parallèle, compléter la formation universitaire d'ingénieurs en les amenant à intégrer l'utilisation de normes à leurs travaux de conception serait une initiation pertinente à la conception et à la validation de ces circuits.
- Pour pallier la difficulté des fabricants à sensibiliser leurs clients à la sécurité en dépit des coûts associés, il serait pertinent que le Québec se dote d'un cadre réglementaire suffisamment clair invitant à la standardisation. Un tel cadre obligerait tous leurs clients à se doter de machines comportant sensiblement un même niveau de protection, ce qui réduirait la compétitivité en matière de prix.

Enfin, pour approfondir les aspects opérationnels, à cette étude exploratoire pourrait succéder une étude longitudinale consistant à suivre quelques projets de fabrication dans leur globalité. Une telle étude permettrait d'observer et mieux comprendre les interactions entre les différents acteurs de la conception intégrant le futur utilisateur (lien entre le cahier des charges et la réception finale de la machine concernée). De plus, elle permettrait d'étudier les interactions entre les membres d'une même équipe aux compétences diverses (ex. : électrique, mécanique, automatisation).

BIBLIOGRAPHIE

- Backström, T. et Döös, M. (2000). Problems with machine safeguards in automated installations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25(6), 573–585.
- Bellamy, L. J., Ale, B. J. M., Geyer, T. A. W., Goossens, L. H. J., Hale, A. R., Oh, J., Mud, M., Bloemhof, A., Papazoglou, I. A. et Whiston, J. Y. (2007). Storybuilder: A tool for the analysis of accident reports. *Reliability Engineering & System Safety*, 92(6), 735–744.
- Bourque, G. (2016). *Outil d'identification des risques : prise en charge de la santé et de la sécurité du travail* (Brochure n° DC 200-418). Tiré de <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/publications/200/Pages/DC-200-418.aspx>
- Brison, R. J., Pickett, W., Hagel, L., Issacs, C., Lawson, J., Hartling, L., Alberg, N. et Rennie, D. (2003). Chapter 10: Hospitalized agricultural machine: Related Injuries: Overview. Dans Canadian Agricultural Injury Reporting (CAIR) (Édit.), *Agricultural Injuries in Canada for 1990–2000*. Winnipeg, MB Canada : CAIR. Tiré de <https://www.cair-sbac.ca/reports/cair-reports/archived/agricultural-injuries-in-canada-for-1990-2000/>
- Bulzacchelli, M. T., Vernick, J. S., Sorock, G. S., Webster, D. W. et Lees, P. S. J. (2008). Circumstances of fatal lockout/tagout related injuries in manufacturing. *American Journal of Industrial Medicine*, 51(10), 728–734.
- Chinniah, Y. (2015). Analysis and prevention of serious and fatal accidents related to moving parts of machinery. *Safety Science*, 75, 163–173.
- CNESST et UPA. (2006). *La prévention des accidents liés aux pièces en mouvement* (Guide n° DC 300-436). Tiré de https://www.cnesst.gouv.qc.ca/publications/300/Pages/dc_300_436.aspx
- CNESST. (2015). *Normes canadiennes, nord-américaines et internationales sur la sécurité des machines*. Tiré de <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/publications/DC/Pages/Normes.aspx>
- CNESST. (2017a). *Sécurité des machines : phénomènes, situations, événements dangereux et dommages* (Brochure n° DC 200-1581 1). Tiré de <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/200/Pages/DC-200-1581.aspx>
- CNESST. (2017b). *Rapport annuel de gestion 2016* (Rapport n° DC 400-2032 10). Tiré de <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/400/Documents/DC400-2032-10web.pdf>
- De la Garza, C. (2005). L'intégration de la sécurité lors de la conception de machines à risques pour les opérateurs : comparaison de logiques différentes de conception. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 7-1. Tiré de <http://pistes.revues.org/3251>
- Dei Svaldi, D. et Charpentier, P. (2004). Une étude des accidents en automatisme à partir de la base de données Epicea. *Hygiène et sécurité du travail*, (ND 2216), 53–73. Tiré de <file:///C:/Users/sabjoc/Downloads/nd2216.pdf>
- Dźwiarek, M. (2004). An analysis of accidents caused by improper functioning of machine control systems. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 10(2), 129–136.
- Fadier, E., Falconnet, E., Daille-Lefevre, B., Marsot, J. et Roignot, R. (2013). *Conception des machines : intégrer la sécurité et la santé dès la rédaction du cahier des charges*. Communication présentée à QUALITA 2013, Compiègne, France. Tiré de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00823137/document>
- Haghighi, A., Chinniah, Y. et Jocelyn, S. (2018). Literature review on the incentives and solutions for the bypassing of guards and protective devices on machinery. *Safety Science*, 111, 188–204
- Jocelyn, S., Bulet-Vienney, D., Giraud, L. et Sghaier, A. (2017). *Robotique collaborative : évaluation des fonctions de sécurité et retour d'expérience des travailleurs, utilisateurs et*

- intégréateurs au Québec* (Rapport n° R-974). Tiré de <http://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/publication/i/100938/n/robotique-collaborative-securite-experience-travailleurs-integrateurs>
- Lüken, K., Paridon, H. et Windemuth, D. (2006). Neutralisation des dispositifs de protection sur les machines : un problème multidimensionnel. *Hygiène et sécurité du travail*, ND 2261 205 06, 55–58. Tiré de <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202261>
- Ménard, L. (2008). *Captage et traitement des poussières métalliques facilement oxydables* (Brochure n° DC 200-16278). Tiré de https://www.cnesst.gouv.qc.ca/publications/200/Pages/dc_200_16278.aspx
- Narasimhan, G. R., Peng, Y., Crowe, T., Hagel, L., Dosman, J. et Pickett, W. (2010). Operational safety practices as determinants of machinery-related injury on Saskatchewan farms. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1226–1231.
- Sangare, A., Gauthier, F. et Abdul-Nour, G. (2012). Investigation of the adoption and use of standards and regulations by machinery manufacturers. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 19(3), 1250015-1–1250015-22.
- Stacey, N. et Healey, N. (2006). *Analysis of RIDDOR Machinery Accidents in the UK printing and publishing industries 2003–2004* (Rapport n° HSL/2006/83). Tiré de http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2006/hsl0683.pdf
- Tihay, D. (2018). Robotique collaborative: perception et attentes des industriels. *Hygiène et sécurité du travail*, 250, 50–57.
- U.S. Bureau of Labor Statistics (2014). *National Census of Fatal Occupational Injuries in 2013*. https://www.bls.gov/news.release/archives/cfoi_09112014.pdf

ANNEXE A : LISTE DES DOCUMENTS NORMATIFS CITÉS DANS LE RAPPORT

- Guide technique **ANSI B11 TR3 2000**. American National Standards Institute. (2000). *American national standard for machines: Performance criteria for safeguarding*. Leesburg, VA: ANSI.
- Norme **ANSI B11.0**. American National Standards Institute. (2015). *Safety of machinery*. Houston, TX: ANSI.
- Norme **ANSI B11.19**. American National Standards Institute. (2010). *American national standard for machines: Performance criteria for safeguarding*. McLean, VA: ANSI
- Norme **ANSI B65.1**. American National Standards Institute. (2011). *American national standard: Graphic technology: safety requirements for graphic technology equipment and systems. Part 1, general requirements*. Reston, VA. : ANSI.
- Norme **ANSI B155.1**. American National Standards Institute. (2016). *Safety requirements for packaging and processing machinery*. Reston, VA: ANSI.
- Norme **ANSI/ISA 62443-1-1** (99.01.01). American National Standards Institute/International Society of Automation. (2007). *Security for industrial automation and control systems part 1-1: Terminology, concepts, and models*. ANSI/ISA.
- Norme **ANSI/RIA 15.06**. American National Standards Institute/Robotic Industries Association. (2012). *American national standard for industrial robots and robot systems: Safety requirements*. Ann Arbor, MI: ANSI.
- Norme **CSA C22.2**. Association canadienne de normalisation. (2010). *Exigences générales : code canadien de l'électricité : deuxième partie*. Mississauga, ON: CSA.
- Norme **CSA W47.1**. Association canadienne de normalisation. (2014). *Certification des compagnies de soudage par fusion de l'acier*. Mississauga, ON: CSA.
- Norme **CSA Z142-10**. Association canadienne de normalisation. (2014). *Code régissant l'opération des presses : exigences concernant la santé, la sécurité et la protection*. Mississauga, ON: CSA.
- Norme **CSA Z432-16**. Association canadienne de normalisation. (2016). *Protection des machines*. Toronto, ON: CSA.
- Norme **CSA Z434-14**. Association canadienne de normalisation. (2014). *Robots industriels et systèmes robotiques*. Mississauga, ON: CSA.
- Norme **CSA Z460**. Association canadienne de normalisation. (2014). *Maîtrise des énergies dangereuses : cadenassage et autres méthodes*. Mississauga, ON: CSA.
- Norme **ISO 9001**. Organisation internationale de normalisation. (2015). *Systèmes de management de la qualité : exigences*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 10218-1**. Organisation internationale de normalisation. (2011). *Robots et dispositifs robotiques : exigences de sécurité pour les robots industriels : partie 1 : robots*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 10218-2**. Organisation internationale de normalisation. (2011). *Robots et dispositifs robotiques : exigences de sécurité pour les robots industriels : partie 2 : systèmes robots et intégration*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 12100**. Organisation internationale de normalisation. (2010). *Sécurité des machines : principes généraux de conception et appréciation du risque et réduction du risque*. Genève, Suisse: ISO.

- Norme **ISO 13849-1**. Organisation internationale de normalisation. (2015). *Sécurité des machines : parties des systèmes de commande relatives à la sécurité : partie 1: principes généraux de conception*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 13849-2**. Organisation internationale de normalisation. (2012). *Sécurité des machines : parties des systèmes de commande relatives à la sécurité : partie 2: validation*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 13850**. Organisation internationale de normalisation. (2015). *Sécurité des machines: fonction d'arrêt d'urgence et principes de conception*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 13855**. Organisation internationale de normalisation. (2015). *Sécurité des machines : positionnement des moyens de protection par rapport à la vitesse d'approche des parties du corps*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 13857**. Organisation internationale de normalisation. (2008). *Sécurité des machines : distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 14119**. Organisation internationale de normalisation. (2013). *Sécurité des machines : dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs : principes de conception et de choix*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 14120**. Organisation internationale de normalisation. (2015). *Sécurité des machines : protecteurs : exigences générales pour la conception et la construction de protecteurs fixes et mobiles*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 14121**. Organisation internationale de normalisation. (2010). *Sécurité des machines : principes généraux de conception : évaluation et réduction des risques*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **ISO 14122**. Organisation internationale de normalisation. (2016). *Sécurité des machines : moyens d'accès permanents aux machines : partie 4 : échelles fixes*. Genève, Suisse: Organisation internationale de normalisation.
- Norme **ISO 23125**. Organisation internationale de normalisation. (2016). *Machines-outils : sécurité : machines de tournage*. Genève, Suisse: ISO.
- Norme **NFPA 484**. National Fire Protection Association. (2014). *Standard for combustible metals*. Quincy, MA: NFPA.
- Norme **OHSAS 18001**. Occupational Health and Safety Assessment Series. (2007). *Mise en place de management de la santé et de la sécurité au travail*. Tiré de <https://ohsas-18001.fr/>

ANNEXE B : ORGANISATION D'UNE VISITE EN ENTREPRISE

Le déroulement prévu des visites d'une demi-journée est le suivant, comme présenté aux participants :

- En salle de réunion
 - Présentation des intervenants (équipe de recherche et personnel de l'entreprise hôte) – *5 min*;
 - Rappel des tenants et aboutissants de l'activité de recherche, des objectifs et du déroulement de la visite – *10 min*;
 - Signature du formulaire d'information et de consentement – *5 min*.

- En salle de réunion
 - Conduite de l'entrevue à l'aide d'un guide conçu à cette fin. Chaque point du guide sera abordé avec le ou les principaux interlocuteurs et, au besoin, ponctuellement avec d'autres personnels compétents pour des points particuliers – *2 heures*;
 - Conclusion de la visite – *10 min*.

- En atelier
 - Observation du ou des équipements fabriqués, à l'aide de la grille d'observation des équipements (l'équipe de recherche sera accompagnée du représentant d'entreprise qu'on lui aura assigné) – *1 heure*.

ANNEXE C : GRILLE D'ENTREVUE

Grille d'entrevue

1. Identification de l'entreprise et des interlocuteurs

CODE ENTREPRISE	
NOMBRE DE TRAVAILLEURS	

INTERLOCUTEURS	
Code interlocuteur	Titre / Fonction dans l'usine

2. Description des machines fabriquées et des utilisateurs/clients

2.1. Appellation :
2.2. À quoi sert cette machine (ex. : produit fabriqué) ?
2.3. Caractéristiques (ex. : puissance, tonnage, charge nominale, dimensions, capacité) :
2.4. Énergie(s) présente(s) sur la machine : <input type="checkbox"/> Électrique <input type="checkbox"/> Hydraulique <input type="checkbox"/> Pneumatique <input type="checkbox"/> Mécanique <input type="checkbox"/> Thermique <input type="checkbox"/> Autre(s) : _____

2.5. Quels sont les utilisateurs types de ces machines (secteurs d'activité, au Canada ou à l'international) ?

2.6. Quelles approches utilisez-vous pour bien identifier les besoins des utilisateurs/clients en relation avec le **cahier des charges** de la machine?

Par « besoins », on entend : besoins liés à l'installation de la machine, son opération, sa maintenance, son nettoyage, etc.

2.7. Comment s'assure-t-on que les besoins sont comblés, et que la machine est bien installée ou intégrée?

2.8. De façon générale, comment assurez-vous la sécurité des équipements conçus (qui fait quoi et quand)?

4. Appréciation du risque

4.1. Pouvez-vous décrire la démarche d'appréciation du risque que vous suivez dans le processus de conception de vos machines?

Exemples de points de discussion :

- Détermination des limites de la machine
- Identification des phénomènes dangereux
- Estimation du risque
- Évaluation du risque
- Démarche documentée (formelle)
- Démarche verbale autour d'une table (informelle)

4.2. Une fois les moyens de réduction du risque choisis, comment traitez-vous les risques résiduels, s'il en subsiste (approche itérative)?

4.3. Que transmettez-vous à vos clients comme information pour le risque résiduel de vos machines?

4.4. Est-il possible d'avoir une copie de la documentation sur la démarche d'appréciation du risque que vous utilisez?

- Oui Non Copie obtenue

4.5. Est-il possible d'avoir une copie de la documentation remise au client?

- Oui Non Copie obtenue

5. Stratégie de réduction du risque

5.1. Comment éliminez-vous ou réduisez-vous les dangers/risques (critères d'évaluation, hiérarchisation des moyens de réduction du risque, etc.)?

5.2. Parmi les demandes ou spécifications des clients, à quelle fréquence en trouve-t-on concernant les mesures de prévention ou de protection⁴?

Toujours = systématiquement
Très fréquemment = la majorité des commandes
Souvent = plusieurs commandes
Rarement = minorité des commandes, de temps en temps

Type de demande	Toujours	Très fréquemment	Souvent	Rarement	Jamais	Ne sait pas
Ajout de « mesures de prévention »	<input type="checkbox"/>					
Retrait de « mesures de prévention »	<input type="checkbox"/>					
Modification de « mesures de prévention »	<input type="checkbox"/>					
Modification intrinsèque à la machine (ex. : changement de produit, processus modifié)	<input type="checkbox"/>					
Conformité à certaines normes	<input type="checkbox"/>					
Autre : <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Remarques ou précisions :						

⁴ Dans le contexte de la présente étude, les mesures de prévention et de protection (ci-après « les mesures de prévention ») incluent les mesures mises en œuvre par le **concepteur/fabricant** de la machine, dont la prévention intrinsèque, les protecteurs et dispositifs de protection, les mesures de prévention complémentaires (par exemple les arrêts d'urgence) et information pour l'utilisation (par exemple les pictogrammes d'avertissement et les documents d'accompagnement)

5.3. Offrez-vous des « mesures de prévention » en option ? Oui Non
 Expliquer :

5.4. À quelle fréquence envisagez-vous les « mesures de prévention » listées ci-dessous ?

Type de « mesures de prévention »	Toujours	Très fréquemment	Souvent	Rarement	Jamais	Ne sait pas
Prévention intrinsèque (suppression du danger)	<input type="checkbox"/>					
Prévention intrinsèque (réduction du risque par conception)	<input type="checkbox"/>					
Protecteurs	<input type="checkbox"/>					
Dispositifs de protection	<input type="checkbox"/>					
Mesures de prévention complémentaires	<input type="checkbox"/>					
Informations pour l'utilisation	<input type="checkbox"/>					
Équipements de protection individuelle (ÉPI)	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					
Remarques :						

5.5. Quelles sont vos principales contraintes ou difficultés vis-à-vis de la mise en place des « mesures de prévention »?

Remarques :

6. Prévention de la neutralisation volontaire des protecteurs et dispositifs de protection

6.1. Comment vous assurez-vous que les « mesures de prévention » ne seront pas contournées ou neutralisées (Protecteur enlevé, dispositifs de sécurité neutralisés)?

Par exemple : mode de fixation des protecteurs, principe de l'actionnement positif des interrupteurs de sécurité, protection de l'accès au logiciel, prise en compte de tâches de maintenance, etc.

Remarques :

7. Conception du système de commande**7.1.** Quelle documentation de référence utilisez-vous pour concevoir le système de commande? À quelle fréquence?

Titre	Toujours	Très fréquemment	Souvent	Rarement	Jamais	Ne sait pas
ISO 13849	<input type="checkbox"/>					
CEI 62061	<input type="checkbox"/>					
Manuel d'installation des dispositifs de sécurité	<input type="checkbox"/>					
Schémas fournis par le vendeur de composants	<input type="checkbox"/>					
CSA Z432	<input type="checkbox"/>					
CSA Z434	<input type="checkbox"/>					
ANSI/ISA-62443	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					

7.2. Quelles technologies utilisez-vous pour vos systèmes de commande d'opération (standard)?

- Électrique Électronique programmable Hydraulique
 Pneumatique Sans fil
 Autre : _____

7.5. Quelles difficultés rencontrez-vous pour cette partie et comment gérez-vous ces difficultés?

7.6. Déterminez-vous la catégorie, le niveau de performance (PL) ou le SIL requis pour chaque fonction de sécurité (Graphe ou matrice de risque, norme de type C)?

Oui Non

Comment ?

7.7. Quelle démarche suivez-vous pour la validation des circuits de commande relatifs à la sécurité?

8. Prise en compte de la maintenance

8.1. Considérez-vous les points suivants pour la maintenance?

	Toujours	Très fréquemment	Souvent	Rarement	Jamais	Ne sait pas
Le positionnement des points d'isolement des sources d'énergie (localisation, accès)	<input type="checkbox"/>					
La mise en place d'un dispositif d'isolement pour chaque source d'énergie	<input type="checkbox"/>					
Que tous les dispositifs d'isolement soient cadenassables	<input type="checkbox"/>					
Le positionnement des points de maintenance	<input type="checkbox"/>					
Un mode de commande spécifique pour la maintenance	<input type="checkbox"/>					
Méthodes alternatives au cadenassage	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					

Remarques (ex. : description des méthodes alternatives au cadenassage, s'il y a lieu) :

8.2. Proposez-vous un mode de commande spécifique pour la maintenance, le déblocage, etc. (RSST, art. 189)?

Oui Non

Décrivez-le :

Noter les références utilisées, le cas échéant :

8.3. Prévoyez-vous des mesures permettant de faciliter la maintenance?

8.4. Distinguez-vous les interventions en « continuité de production » séparément?

Remarques :

Remarques :					
9.3. Comment procédez-vous pour limiter les bruits?					
	Toujours	Très fréquemment	Souvent	Rarement	Jamais
Choix des matériaux	<input type="checkbox"/>				
Modification du procédé de fabrication	<input type="checkbox"/>				
Recouvrir la machine de panneaux acoustiques	<input type="checkbox"/>				
Les solutions précédentes sont impossibles ou insuffisantes donc on a recours aux ÉPI	<input type="checkbox"/>				
	<input type="checkbox"/>				
	<input type="checkbox"/>				
	<input type="checkbox"/>				
9.4. Comment procédez-vous pour limiter l'émission ou l'utilisation de produits contaminants?					

10. Prise en compte des phases de montage, tests en usine, installation, tests chez le client, mise en service, démontage, mise hors service et rebut (ISO 12100)

10.1. Comment assurez-vous la sécurité des travailleurs lors du montage, de l'installation, des essais, des tests et de la mise en service sur les machines que vous développez et fabriquez alors que les protections ne sont pas encore installées (dans votre usine), ou que la machine est en mise en service chez le client (prétests)?

11. Industrie 4.0

11.1. Où vous situez-vous par rapport à l'industrie 4.0?

11.2. Comment percevez-vous l'avènement de l'industrie 4.0 par rapport à la SST?

12. Évaluation de l'entrevue

12.1. Comment avez-vous trouvé l'entrevue? Avez-vous des remarques?

ANNEXE D : GRILLE D'OBSERVATION DES ÉQUIPEMENTS

Grille d'observation des équipements

13. Identification de l'équipement observé

Équipement :			
Marque :			
Année de fabrication :		Année d'installation :	
Modèle :		N° de série :	
Marquage (ex. : CE, CSA) :			

14. Protecteurs et dispositifs de protection

14.1. Protecteurs fixes (Vérifier les distances et ouvertures avec un sécurimètre)

Présence : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Couverture de la zone dangereuse : <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Partielle*	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Taille des ouvertures : <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Zone dangereuse accessible*	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Espace de dégagement (ex. : 500 mm) : <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Insuffisant*	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Mode de fixation : <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Non conforme)	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé

*Précisions :

14.2. Protecteurs mobiles

Présence : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Couverture de la zone dangereuse (ZD) : <input type="checkbox"/> Suffisante <input type="checkbox"/> Partielle*	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Taille des ouvertures : <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> ZD accessible*	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Associé à un dispositif de protection : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Composants de sécurité : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Ouverture forcée des contacts : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Espace de dégagement : <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Insuffisant*	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Principe de l'actionnement positif : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Redondance : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé

*Précisions :			
14.3. Tapis sensible			
Présence :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
			<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Taille et positionnement :	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> Accès sans détection possible*	
			<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
*Précisions :			
14.4. Détecteur surfacique			
Présence :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
			<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Zone de balayage :	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> Accès sans détection possible*	
			<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
*Précisions :			
14.5. Barrage immatériel			
Présence :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
			<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Taille et positionnement :	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> Accès sans détection possible*	
			<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
*Précisions :			
14.6. Système de commande			
Séparation commandes standards/fonctions de sécurité :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
			<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
API pour les fonctions de sécurité :	<input type="checkbox"/> Standard	<input type="checkbox"/> Dédié à la sécurité	
			<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
Remarques :			

15. Panneaux de commande

<p>15.1. Localisation des panneaux de commande : sont-ils installés <u>hors</u> d'une zone à risque? <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>Partiellement</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/>Observé <input type="checkbox"/>Affirmé <input type="checkbox"/>Testé</p>
<p>15.2. Les éléments sur les panneaux de commande sont-ils bien identifiés? <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/>Observé <input type="checkbox"/>Affirmé <input type="checkbox"/>Testé</p>
<p>15.3. Les boutons poussoirs sont-ils protégés contre un actionnement intempestif (sauf arrêt des mouvements dangereux)? <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/>Observé <input type="checkbox"/>Affirmé <input type="checkbox"/>Testé</p>
<p>15.4. Les écrans tactiles comportent-ils certaines fonctions de sécurité (arrêt d'urgence, verrouillage, etc.)? <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/>Observé <input type="checkbox"/>Affirmé <input type="checkbox"/>Testé</p> <p>Lesquelles ?</p>

16. Dispositifs d'arrêt d'urgence et réarmement

16.1. Type de dispositif d'arrêt d'urgence installé			
<input type="checkbox"/> Câble	Quantité : _____	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Tendu : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement remarquable : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement accessible : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<input type="checkbox"/> Bouton	Quantité : _____	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	<input type="checkbox"/> Rouge <input type="checkbox"/> Non encastré <input type="checkbox"/> Type champignon <input type="checkbox"/> Sur fond jaune <input type="checkbox"/> À réarmement manuel	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement remarquable : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement accessible : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Reste enfoncé après actionnement : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<input type="checkbox"/> Pédale	Quantité : _____	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement remarquable : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement accessible : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<input type="checkbox"/> Barre	Quantité : _____	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement remarquable : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement accessible : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<input type="checkbox"/> Poignée	Quantité : _____	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement remarquable : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	Facilement accessible : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
16.2. Les dispositifs d'arrêt d'urgence sont-ils équipés de contacts à ouverture forcée?		<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
16.3. L'actionnement d'un dispositif d'arrêt d'urgence provoque-t-il l'arrêt de toutes les charges de la machine?		<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
-	Les charges électriques	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> N/A	
-	Les charges pneumatiques (avec purge)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> N/A	
-	Les charges hydrauliques (avec purge)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> N/A	
16.4. Le réarmement manuel du bouton d'arrêt d'urgence provoque-t-il la mise en marche d'un ou plusieurs éléments de la machine?		<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
16.5. Y a-t-il un dispositif de réarmement?		<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
16.6. L'actionnement du dispositif de réarmement déclenche-t-il des mouvements dangereux?		<input type="checkbox"/> Observé	<input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		

16.7. L'opérateur a-t-il une bonne visibilité de la machine de l'endroit où se trouve le dispositif de réarmement? Oui
 Non Observé Affirmé Testé

17. Modes de fonctionnement

17.1. Quels sont les différents modes de fonctionnement disponibles? Décrire le mode dans la colonne de droite, si besoin (ex. : type de commande, vitesse/effort réduits, activités concernées).

<input type="checkbox"/> Automatique	
<input type="checkbox"/> Semi-automatique	
<input type="checkbox"/> Manuel <input type="checkbox"/> Commande maintenue	
<input type="checkbox"/> Marche par à-coups	
<input type="checkbox"/> Autre	

17.2. Comment sélectionne-t-on ces différents modes de fonctionnement? Observé Affirmé Testé

17.3. Des phénomènes dangereux peuvent-ils apparaître alors que des moyens de réduction du risque sont désactivés?
 Oui Non Observé Affirmé Testé

17.4. Quels sont les moyens de réduction du risque compensatoires dans ce cas (ex. : méthode de travail sécuritaire)?
 Observé Affirmé Testé

18. Autres dispositions

18.1. Des dispositions sont prises pour éviter les risques de brûlure.
 Oui Non Observé Affirmé Testé

Lesquelles?

18.2. Si des matières ou substances dangereuses sont émises par la machine, des dispositifs tels que des captages adaptés sont prévus
 Oui Non Observé Affirmé Testé

18.3. L'accès en toute sécurité est aisé à tous les emplacements où l'intervention est nécessaire durant le fonctionnement, le réglage et la maintenance de la machine.
 Oui Non Observé Affirmé Testé

18.4. Depuis les parties de la machine sur lesquelles les personnes sont amenées à stationner ou à se déplacer, des dispositions sont prises pour éviter les risques de glisser (sols antidérapants, mains courantes, crosses de rétablissement, etc.), trébucher ou tomber (garde-corps).
 Oui Non Observé Affirmé Testé

18.5. Remarques :

19. Maintenance, montage et installation, démontage

19.1. Les points de réglage et d'entretien sont situés en dehors des zones dangereuses. <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
19.2. La machine est munie de dispositifs d'isolement des sources d'énergie clairement identifiées et cadenassables. <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
19.3. Après coupure, les énergies résiduelles s'évacuent sans risque (ex. : vanne de purge non orientée vers des personnes). <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
19.4. Y a-t-il des dispositifs tels que des œillets facilitant la manutention (pour le transport, le montage et le démontage)? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
19.5. Remarques :	

20. Ergonomie

<p>20.1. Si le travail le nécessite, le constructeur a prévu un espace adapté pour un siège ou un siège installé sur la machine. <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.2. Un espace est prévu pour les membres supérieurs et inférieurs de l'opérateur. <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.3. La machine présente des surfaces de travail, des organes de service et d'autres éléments accessibles par les opérateurs (même assis). <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.4. La machine est conçue et construite de façon à ce qu'il n'y ait ni zone d'ombre ni éblouissement gênant. <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.5. Les parties intérieures, qui doivent être inspectées et réglées fréquemment, ainsi que les zones d'entretien, sont munies d'un éclairage approprié. <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.6. La machine possède des éléments de réglages conçus pour tenir compte de la morphologie, de la force physique et d'autres critères concernant les travailleurs. <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.7. Ces éléments de réglage sont facilement manœuvrables. <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.8. Il y a assez d'espace pour les mouvements des différentes parties du corps des opérateurs, y compris des opérateurs de maintenance. <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.9. Toute zone dangereuse de la machine est visible depuis l'extérieur. <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.10. Prenez-vous en compte la présence d'un superviseur/second opérateur lors des formations pour la conception de l'espace de travail? <input type="checkbox"/>Oui <input type="checkbox"/>Non <input type="checkbox"/>N/A</p> <p>Comment ?</p>	<input type="checkbox"/> Observé <input type="checkbox"/> Affirmé <input type="checkbox"/> Testé
<p>20.11. Justifier les réponses négatives aux points 20.1 à 20.10 (contraintes particulières, solution/compromis)</p>	