



Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

RAPPORT R-888



Étude sur la sécurité des machines lors des interventions en mode de vitesse ou d'efforts réduits

Yuvín Chinniah
Barthélemy Aucourt
Réal Bourbonnière



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

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

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

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

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

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

Pour en savoir plus

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

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : www.csst.qc.ca/AbonnementPAT

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2015
ISBN : 978-2-89631-823-0 (PDF)
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
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
Juillet 2015



Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

 **RAPPORT R-888**

Étude sur la sécurité des machines lors des interventions en mode de vitesse ou d'efforts réduits

Avis de non-responsabilité

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

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

*Yuvin Chinniah, Barthélemy Aucourt
Polytechnique Montréal*

*Réal Bourbonnière
Consultation Réal Bourbonnière*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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 ne seraient pas accessibles à la recherche.

Les auteurs tiennent également à exprimer leur gratitude à Pascal Poisson, ingénieur et président de la société Intervention Prévention pour son précieux apport dans le cadre de cette étude notamment pour avoir ouvert la porte de plusieurs entreprises à l'équipe de recherche. Ils veulent également remercier tous les membres du comité de suivi, en particulier Khalid El Ahrache de l'Association paritaire de santé et de sécurité du travail, secteur imprimerie et activités connexes (ASP Imprimerie) et Tony Venditti de l'Association sectorielle – Fabrication d'équipement de transport et de machines (ASFETM) pour leur contribution.

SOMMAIRE

Les risques liés aux éléments mobiles de machines industrielles sont connus pour être à l'origine d'accidents graves et mortels. L'article 186 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) vise à encadrer des interventions, notamment de maintenance, de réparation et de réglage en complément de l'article 182 qui, lui, régit les interventions de production en interdisant l'accès aux zones dangereuses et en assurant l'arrêt des éléments mobiles en cas de présence de travailleurs dans ces zones dangereuses. Cette activité de recherche vise à étudier l'application de l'article 186 du RSST. Elle a pour premier objectif de dresser un bilan des connaissances et des recommandations de la littérature sur les modes de fonctionnement à énergie réduite, notamment en termes de valeurs de vitesse, de force/effort, de pression, et de température. Le second objectif de l'étude est de comprendre la mise en œuvre de l'article 186 du RSST, grâce à des observations en usine.

L'analyse de la littérature a démontré la grande variabilité des recommandations sur les niveaux d'énergie réduite. Ces recommandations, provenant principalement des normes et intimement liées à un contexte précis, sont généralement accompagnées de conditions complémentaires. Une réduction d'énergie seule sera souvent insuffisante pour réduire le risque. Les visites en usine ont montré que les différentes conditions prescrites par l'article 186 du RSST sont parfois difficiles à satisfaire simultanément. Les moyens de protection, y compris la réduction du niveau d'énergie, sont donc un compromis entre différentes contraintes (liées aux besoins des tâches, à la machine elle-même, aux exigences de la production, etc.) et la réduction du risque afin d'éviter ou de limiter le dommage.

Finalement, l'étude a permis de comprendre que les valeurs des énergies réduites dépendent de beaucoup de facteurs et que la diversité des situations possibles impose d'effectuer une analyse de risque approfondie. L'application de l'article 186 du RSST s'inscrit donc dans une démarche d'appréciation et de réduction du risque pour des tâches pour lesquelles les intervenants n'ont pas d'autre choix que de pénétrer dans la zone où des éléments de la machine sont en mouvement. L'objectif d'une telle démarche est d'atteindre un niveau de risque comparable à celui visé par l'article 182 du RSST, en mettant en place des moyens de prévention qui compenseront l'ouverture d'un protecteur et la mise en marche de la machine. Ces moyens de prévention permettent d'agir sur les trois principes suivants : la réduction du dommage, l'augmentation de la possibilité d'éviter le dommage et la réduction de l'exposition au phénomène dangereux. Cependant, la question de la détermination des niveaux d'énergie réduite demeure. De façon générale, lorsque la littérature recommande des valeurs, si la situation étudiée correspond exactement au contexte décrit dans la littérature, alors les concepteurs peuvent utiliser ces mêmes valeurs. En revanche, lorsqu'aucune référence n'est disponible, la détermination d'un niveau d'énergie tolérable devra être basée sur une réflexion et une analyse plus poussées. Seule une comparaison rigoureuse entre le contexte des propositions issues de la littérature et celui de la situation réelle permettra d'extrapoler des recommandations à des situations comparables, mais non identiques. Une analyse de risque doit être effectuée. L'étude a permis d'identifier quelques points de repère ou facteurs qui guideront les concepteurs et les utilisateurs dans leur réflexion et leur analyse pour le choix de valeurs de vitesse réduite, d'effort réduit, d'énergie cinétique réduite et de pression de contact réduite.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES	xi
1 INTRODUCTION.....	1
2 OBJECTIFS DE RECHERCHE	5
3 MÉTHODE.....	7
3.1 Littérature	7
3.2 Visites en entreprise.....	7
4 RÉSULTATS.....	11
4.1 Résultats issus de la littérature	11
4.1.1 Réglementations québécoise, canadienne et internationale	11
4.1.1.1 Réduction du risque	13
4.1.1.2 Mode de fonctionnement et évitement du dommage.....	13
4.1.2 Vitesse réduite.....	14
4.1.3 Effort réduit.....	19
4.1.4 Énergie cinétique réduite	21
4.1.5 Pression réduite	21
4.1.6 Énergie thermique réduite.....	22
4.1.7 Études spécifiques pour déterminer les valeurs d'énergie réduite.....	23
4.1.7.1 Détermination d'une vitesse réduite sécuritaire pour les robots.....	23
4.1.7.2 Détermination des forces et pressions surfaciques admissibles par le corps humain	24
4.1.8 Moyens complémentaires de réduction du risque.....	25

4.2	Résultats issus des visites en entreprises	27
4.2.1	Caractérisation des interventions recensées nécessitant le mode V/E réduits	32
4.2.2	Accès aux zones dangereuses et protections complémentaires	35
4.2.2.1	L'accès aux zones dangereuses et la neutralisation des dispositifs de protection	35
4.2.3	Les modes et types de commande utilisés	36
4.2.3.1	Marche continue des éléments dangereux	36
4.2.3.2	Les commandes nécessitant une action continue.....	37
4.2.3.3	Priorité de la commande	38
4.2.4	Les moyens complémentaires de réduction du risque	39
4.2.5	Possibilité de réglage et choix de la vitesse	41
5	DISCUSSION	45
5.1	Les sources d'information.....	45
5.2	Variabilité des valeurs et facteurs d'influence	45
5.2.1	Les facteurs d'influence.....	46
5.2.2	Impact des facteurs d'influence	49
5.3	Recommandations.....	50
5.3.1	Démarche d'application de l'article 186 du RSST	50
5.3.1.1	La réduction du dommage	51
5.3.1.2	L'augmentation de la possibilité d'évitement d'un dommage.....	51
5.3.1.3	Réduction de l'exposition au phénomène dangereux	52
5.3.2	« Conditions de sécurité accrue » et valeurs prescrites.....	53
5.3.2.1	Valeurs génériques de vitesse réduite	54
5.3.2.2	Valeurs génériques d'efforts réduits, d'énergie cinétique réduite et de pression de contact réduite.....	54
5.3.2.3	Difficultés de détermination des niveaux	56
6	CONCLUSION	57
ANNEXE A : BROCHURE DE PRÉSENTATION UTILISÉE LORS DE LA PRISE DE CONTACT AVEC LES ENTREPRISES		65
ANNEXE B : LETTRE D'INTRODUCTION UTILISÉE LORS DE LA PRISE DE CONTACT AVEC LES ENTREPRISES.....		69

ANNEXE C : OUTIL DE COLLECTE DE DONNÉES UTILISÉ LORS DES VISITES EN ENTREPRISE.....	73
ANNEXE D : DÉROULEMENT TYPE D'UNE VISITE EN ENTREPRISE.....	95

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 –	Type et nombre de documents retenus pour la recherche.....	7
Tableau 2 –	Récapitulatif des exigences des réglementations pour les modes « vitesse et/ou effort réduits ».....	14
Tableau 3 –	Valeurs de vitesse réduite de la littérature, classées par ordre croissant, avec indication des références.....	15
Tableau 4 –	Valeurs de force/effort de la littérature avec indication des références.....	19
Tableau 5 –	Valeurs d'énergie cinétique de la littérature avec indication des références.....	21
Tableau 6 –	Valeurs de pression de la littérature avec indication des références.....	22
Tableau 7 –	Tableau extrait de la norme NF EN 415-10 sur les forces d'écrasement, forces de choc et pressions surfaciques statique limites admissibles par le corps humain.....	25
Tableau 8 –	Recommandations sur le niveau de fiabilité des systèmes de commande du mode de fonctionnement à énergie réduite.....	27
Tableau 9 –	Machines observées lors des visites et leur secteur industriel.....	28
Tableau 10 –	Conditions d'intervention observées lors des visites en entreprise.....	29
Tableau 11 –	Interventions recensées nécessitant le mode V/E réduits.....	33
Tableau 12 –	Moyens d'accès utilisés lors des interventions observées ou simulées.....	35
Tableau 13 –	Moyens complémentaires de réduction du risque identifiés lors des visites.....	40
Tableau 14 –	Situation dans les usines visitées concernant les choix des valeurs de vitesse réduite.....	43
Tableau 15 –	Récapitulatif des valeurs de vitesse, effort, énergie et pression réduits.....	46
Tableau 16 –	Facteurs à prendre en compte pour la protection par limitation de l'énergie.....	47
Tableau 17 –	Variation des recommandations en fonction des facteurs d'influence.....	49
Tableau 18 –	Séries de valeur en fonction de l'état du facteur d'influence.....	50
Tableau 19 –	Modes d'observation décrits dans le document ED 6129 de l'INRS [58].....	53
Tableau 20 –	Caractéristiques générales décrivant la majorité des cas des robots et des presses plieuses hydrauliques.....	54
Tableau 21 –	Tableau récapitulatif des valeurs d'effort, d'énergie cinétique, de pression.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure 1 –	Arbre des causes d'un accident survenu sur une machine à planer, tiré de la base de données EPICEA.	2
Figure 2 –	Secteurs industriels/types de machine répartis en fonction du nombre de valeurs/références au mode V/E réduits.	18
Figure 3 –	Figure extraite de la norme ISO 13732-1 sur les valeurs seuils de température pouvant causer des brûlures.	23
Figure 4 –	De gauche à droite : cassette sortie, partiellement rentrée et totalement rentrée de l'unité d'impression.	36
Figure 5 –	Utilisation d'une pédale pour le changement de plaque.	38
Figure 6 –	Télécommande avec une manivelle.	38
Figure 7 –	Sélecteur à clé d'un robot.	39
Figure 8 –	Bouton de sélection de la télécommande (« manche »).	39
Figure 9 –	Protecteur fixe d'angle rentrant.	41

1 INTRODUCTION

Chaque année, au Québec, les machines industrielles causent des accidents graves et mortels au cours d'interventions effectuées par des travailleurs. D'après une étude de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) [1], les principales causes de lésions sont liées à des pièces en mouvement. En effet, entre 2008 et 2011, il y a eu en moyenne 11 décès par année liés aux machines au Québec. Parmi ces décès, 3,2 (soit environ 30 %) sont dus à l'accès à des pièces en mouvement. Bien que ces chiffres soient à la baisse depuis quelques d'années, l'accès à des pièces en mouvement fait l'objet d'une politique de tolérance zéro de la CSST depuis 2005, car leur nombre demeure néanmoins important.

Lors d'un accident survenu en 2013 [2], une travailleuse a été coincée mortellement après avoir débloqué un chariot à l'entrée d'une grenailleuse. Le déblocage du chariot a provoqué la remise en marche du convoyeur aérien et la travailleuse a été coincée entre le chariot suivant et les portes ouvertes de la grenailleuse. Le faible espace de dégagement et l'avance à 230 mm/s du convoyeur ont emprisonné la victime en six secondes, car elle n'avait aucune possibilité d'évitement. Les causes retenues par la CSST sont : (1) la zone d'entraînement et de coincement est accessible, (2) la tâche de déblocage expose la victime aux phénomènes dangereux d'entraînement et de coincement, et (3) la gestion de la santé et de la sécurité au travail pour le déblocage de la grenailleuse est déficiente (niveau de risque mal estimé, mauvaise communication des nouvelles procédures de travail). Sans juger de la nécessité ou non d'accéder à la zone dangereuse alors que des éléments sont en mouvement, cet exemple illustre le fait qu'une vitesse, bien que réduite, puisse ne pas l'être suffisamment et que des moyens de protection supplémentaires doivent être envisagés.

Il est relativement fréquent de rencontrer une situation dans laquelle les intervenants ont accès à des pièces en mouvement pour effectuer une tâche. En effectuant une analyse de risque approfondie, il est possible de déterminer les besoins de la tâche et les moyens de réduction du risque adaptés à mettre en place. Dans l'exemple précédant, les mouvements des éléments dangereux auraient pu, et dû, être désactivés.

La figure 1 présente l'arbre des causes d'un autre accident, survenu cette fois sur une machine à planer en France. Il est tiré de la base de données EPICEA¹ (numéro de dossier 17737) [3].

¹ EPICEA est une base de données nationale et anonyme rassemblant plus de 18 000 cas d'accidents du travail survenus en France, depuis 1990, à des salariés du régime général de la Sécurité sociale. Ces accidents sont mortels, graves ou significatifs en matière de prévention.

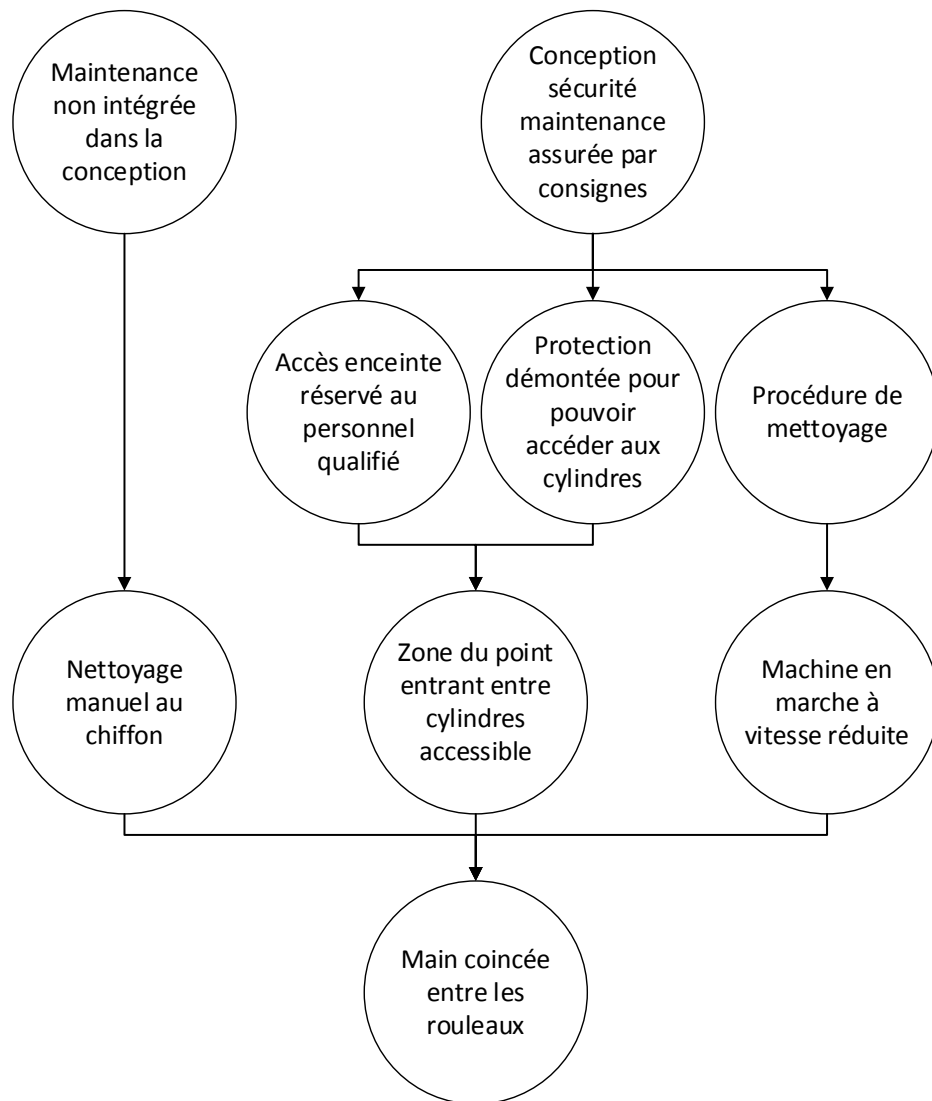


Figure 1 – Arbre des causes d'un accident survenu sur une machine à planer, tiré de la base de données EPICEA.

On y voit que la machine fonctionnait à vitesse réduite. L'opérateur, suivant la procédure en place, avait en effet réduit la vitesse de 1000 mm/s (60 m/min) à 167 mm/s (10 m/min). Cependant, cela n'a pas suffi pour prévenir l'accident. La machine était en marche continue.

Au Québec, l'article 186 du RSST mentionne que [4] :

Lorsqu'un travailleur doit accéder à la zone dangereuse d'une machine à des fins de réglage, de déblocage, de maintenance, d'apprentissage ou de réparation, incluant la détection d'anomalie de fonctionnement, et que, pour ce faire, il doit déplacer ou retirer un protecteur, ou neutraliser un dispositif de protection, la machine ne doit pouvoir être mise en marche qu'au moyen d'un mode de commande manuel ou que conformément à une procédure sécuritaire spécifiquement prévue pour permettre un tel accès. Ce mode de commande manuel ou cette procédure doit présenter les caractéristiques suivantes :

- 1° *il rend inopérant, selon le cas, tout autre mode de commande ou toute autre procédure ;*
- 2° *il ne permet le fonctionnement des éléments dangereux de la machine que par l'intermédiaire d'un dispositif de commande nécessitant une action continue ou un dispositif de commande bimanuel ;*
- 3° *il ne permet le fonctionnement de ces éléments dangereux que dans des conditions de sécurité accrue, par exemple, à vitesse réduite, à effort réduit, pas à pas ou par à-coups. »*

On remarque que le troisième point dudit article préconise, entre autres, l'utilisation d'un mode de fonctionnement ne permettant des mouvements qu'à *vitesse réduite*, ou à *effort réduit*. C'était le cas dans le second exemple d'accident, mais les deux autres conditions de l'article n'étaient pas satisfaites.

Dans le premier exemple (la grenailleuse), la vitesse d'avance du convoyeur aérien était de 230 mm/s, ce qui était trop rapide pour que la victime évite le dommage. Une vitesse de 230 mm/s est pourtant proche des 250 mm/s recommandés et jugés sécuritaires dans les normes relatives aux robots.

Les questions suivantes se posent alors naturellement : pourquoi est-ce suffisant dans un cas et pas dans l'autre ? Qu'est-ce qu'une vitesse ou un effort réduit ? Quels paramètres doit-on prendre en compte pour déterminer la valeur de vitesse ou d'effort réduit ? Ce sont autant d'interrogations auxquelles doivent répondre les constructeurs ainsi que les utilisateurs de machines industrielles.

Le présent rapport a pour objectif de dresser un bilan sur les valeurs d'énergie réduite utilisées dans la littérature, mais aussi en entreprises. Les conditions encadrant les interventions pendant lesquelles le fonctionnement de la machine en mode d'énergie réduite est nécessaire seront aussi étudiées. Les conditions de fonctionnement prescrites et celles qui ont été observées dans le cadre de visites réalisées en usines seront également présentées dans ce rapport.

Les objectifs de l'étude et la méthode de recherche adoptés pour la conduite de l'activité de recherche sont donc décrits dans un premier temps. Les résultats théoriques issus de la littérature (limite des valeurs de vitesse, d'effort, etc., et mesures encadrant la pratique de ce mode d'intervention) sont ensuite présentés, ainsi que les résultats issus du terrain grâce à des visites en entreprise. Dans un troisième temps, une analyse des résultats théoriques et pratiques des parties précédentes est effectuée dans le but d'interpréter ces données, de les comparer et d'en dégager des informations pertinentes pour le choix de valeurs d'énergie réduite. L'analyse des résultats permettra également d'en dégager les points forts et ceux méritant d'être approfondis par la recherche.

2 OBJECTIFS DE RECHERCHE

Le premier objectif de cette étude est de faire un bilan des connaissances sur les modes de fonctionnement à *énergie réduite* et sur les recommandations des règles de l'art dans ce domaine. Cela inclut la caractérisation des niveaux d'énergie des différents phénomènes dangereux d'origine mécanique (vitesse et effort/force), thermique (température), hydraulique et pneumatique (pression).

Le second objectif vise à comprendre la mise en œuvre de l'article 186 du RSST en observant, en usines, les interventions sur différentes machines.

3 MÉTHODE

3.1 Littérature

Afin de répondre au premier objectif du projet, une importante revue de la littérature a été réalisée. Comme point de départ, les normes et guides sur les quatre types de machines initialement visées pour les visites en entreprise ont été privilégiés (robots, machines d'usinage, presses à imprimer et machines à papier). Les références utilisées dans ces différents documents ont été consultées. La base de données Compendex a servi à la recherche des références scientifiques (mots clés utilisés : vitesse réduite, vitesse sécuritaire, vitesse limitée, effort réduit, effort limité, force réduite, force sécuritaire, pression de contact machine, énergie réduite, maintenance et sécurité, sécurité robot, presse à imprimer, machine à papier, tour conventionnel, tour à commande numérique, commande à action maintenue, mode de commande maintenance, nettoyage faible vitesse, programmation robot, mode apprentissage robot, et leurs équivalents en anglais). Les documents retenus pour cette revue ont été classés selon leur nature en quatre types, tels que présentés au tableau 1.

Tableau 1 – Type et nombre de documents retenus pour la recherche.

NATURE DU DOCUMENT	QUANTITÉ ²
Norme	51
Guide	14
Article scientifique	11
Rapport de recherche	2

Dans un premier temps, tous les extraits contenant des informations pertinentes ont été rassemblés dans un même tableau sur le logiciel Excel, afin de faciliter le survol de l'ensemble de la revue de la littérature. Cette démarche a permis d'extraire les notions importantes, de les analyser et de les classer par catégories (ex. : valeur recommandée, type(s) de phénomène(s) dangereux concerné(s), autres moyens de protection associés, etc.). Les résultats théoriques, basés sur ces données, sont détaillés à la section 4.1.

3.2 Visites en entreprise

La méthode utilisée pour atteindre le second objectif a consisté à effectuer des visites dans différents types d'entreprise afin de :

- Comprendre et caractériser le contexte entourant les interventions en mode énergie réduite;
- Noter et mesurer, si possible, les valeurs des énergies réduites utilisées;
- Comprendre les choix effectués et identifier les références utilisées par les entreprises;

² Tous ne figurent pas nécessairement dans la bibliographie : lorsque plusieurs versions d'une même norme contiennent des recommandations identiques, seule la version la plus récente a été retenue dans la liste des références bibliographiques.

- Déterminer les facteurs influençant le choix des valeurs, c'est-à-dire les raisons expliquant leur utilisation.

Il est important de noter que l'objectif n'est pas de juger de la pertinence ou de la validité des recommandations de la littérature, ni d'identifier les interventions effectivement concernées par l'article 186, mais bien d'observer comment les entreprises appliquent ce dernier.

La méthodologie utilisée pour les visites incluait les étapes suivantes :

1) Sélection et contact avec les entreprises :

Les membres du comité de suivi, en particulier l'ASP Imprimerie et l'ASFETM, ainsi que la compagnie Intervention Prévention ont épaulé l'équipe de recherche dans la sélection des entreprises et la prise de contact avec celles-ci. L'équipe de recherche a également contacté des entreprises ayant déjà collaboré dans d'autres activités ou projets de recherche. Les documents fournis lors de la prise de contact (brochure de présentation, présentée à l'0, et lettre d'introduction, présentée à l'0), contenaient les informations suivantes, nécessaires au choix des machines et interventions pertinentes pour l'étude :

- Présentation du projet (problématique, objectifs),
- Besoins de l'étude (en particulier ceux concernant les observations terrain),
- Critères de sélection des situations à observer :
 - o La zone dangereuse doit être circonscrite et normalement rendue inaccessible par un protecteur (fixe, mobile) ou un dispositif de protection (rideau optique, tapis sensible, etc.).
 - o La tâche est nécessaire pour des besoins autres que ceux de production normale, par exemple afin de permettre des réparations, des ajustements ou la recherche de défauts, etc.
 - o La vitesse ou les efforts (énergies) de la machine doivent être réduits de façon à devenir le principal moyen de réduction du risque, permettant alors au travailleur de réaliser la tâche de façon sécuritaire.
- Détail du déroulement des visites (permettant, entre autres, de prévoir le personnel nécessaire à la visite).

Les entreprises devaient donc posséder une ou des machines pour lesquelles certaines interventions dans des zones dangereuses sont nécessaires. Ces situations devaient refléter le contexte décrit à l'article 186 du RSST selon lequel les interventions en zone dangereuse étaient nécessaires pendant le fonctionnement de la machine. Les interventions pour des besoins de production n'étaient pas concernées. Conformément aux prescriptions de l'article 186, les intervenants pouvaient utiliser des dispositifs de commande prescrits par le Règlement (ex. : dispositifs nécessitant une action maintenue, dispositifs de commande de marche par à-coups, etc.).

2) Élaboration de l'outil de collecte de données :

Une grille de collecte de données, dont la version finale est présentée à l'Annexe C, a été élaborée pour recueillir des informations pertinentes et comparables lors des visites en entreprises. Ces informations concernent principalement les conditions décrites dans l'article 186 du RSST, ainsi que d'autres points identifiés grâce à la revue de littérature. Deux visites préliminaires ont permis d'ajuster une version initiale et d'en valider les modifications. La grille est composée des points suivants :

- Partie A – Prise de contact et caractérisation des tâches (en salle de réunion) :
 - o Identifier l'usine et les interlocuteurs,
 - o Identifier les interventions nécessitant le fonctionnement de la machine avec des phénomènes dangereux accessibles,
 - o Caractériser les motifs et besoins de ces interventions,
 - o Noter l'historique des accidents et incidents sur la machine, et voir s'ils sont en lien avec un mode de fonctionnement à énergie réduite.
- Partie B – Étude du mode V/E réduits (en salle de réunion) :
 - o Identifier les niveaux de vitesses et/ou efforts utilisés par défaut ou réglés sur la machine,
 - o Identifier les besoins des entreprises (pourquoi un tel mode a été ajouté, situation par rapport aux normes et à la réglementation),
 - o Comprendre les choix de réglage et les contraintes encadrant ces choix (choix basés sur la littérature, sur l'expérience, en tenant compte du temps et des coûts, etc.).
- Partie C – Identification de la machine/zone dangereuse étudiée et observation d'une intervention en mode V/E réduits (en usine) :
 - o Repérer tous les moyens de réduction du risque en place et ceux qui ont été neutralisés,
 - o Observer et caractériser les conditions d'intervention (organisation spatiale de la zone, EPI utilisés, type d'accès à la zone dangereuse, dispositif de commande utilisé, visibilité de la zone dangereuse, etc.),
 - o Identifier les risques.
- Partie D – Essais (en usine) :
 - o Effectuer des essais pour remplir cette partie de la grille,
 - o Déterminer, par des essais fonctionnels, les effets des différents dispositifs de protection en place,
 - o Effectuer, si possible, des mesures de vitesse, d'effort, de température, etc.,
 - o Étudier des points particuliers à certaines machines (identifiés dans la littérature).

- Partie E – Technologie utilisée (en usine) :
 - o Identifier les moyens techniques utilisés pour réduire et maintenir les vitesses, efforts, énergies à un niveau jugé sécuritaire une fois que le mode V/E réduit(s) a été sélectionné (ex : par limitation de la puissance ou réglage dans le programme de la machine, catégorie du système de commande),
 - o Identifier les moyens de vérification mis en place (présence ou non, type d'indicateur).

3) Collecte des informations en entreprise :

En tout, quinze situations d'intervention sur autant de machines ont été étudiées dans neuf entreprises pour la collecte des informations. L'Annexe C décrit le déroulement type d'une visite en entreprise, qui durait une demi-journée. La grille de collecte de donnée constituait le guide central des visites. Un responsable SST accompagnait l'équipe de recherche (1 ou 2 membres) et répondait aux questions. Lorsque nécessaire, il faisait appel à un ingénieur, à un technicien de maintenance ou à un opérateur pour les parties A et B. Pour les parties C, D et E, un opérateur ou un technicien de maintenance était nécessaire pour effectuer l'intervention à observer et pour faire les essais de fonctionnement des dispositifs de protection lorsque possible. L'équipe de recherche posait des questions avant ou après l'intervention afin de ne pas déconcentrer le travailleur. Elle pouvait, lorsqu'autorisée, prendre des photos et des enregistrements vidéo complémentaires aux informations notées dans la grille de collecte de données.

4) Compilation et analyse des données recueillies :

À la suite des visites, les données recueillies ont été compilées dans un tableau Excel, et organisées par thème (voir les sections de la grille de collecte de données) afin de vérifier que toutes les données pertinentes aient bien été recueillies et pour faciliter l'analyse qualitative. Ce travail a permis de recenser des informations caractérisant les interventions assujetties à l'article 186 du RSST et la façon dont elles sont conduites.

4 RÉSULTATS

4.1 Résultats issus de la littérature

4.1.1 Réglementations québécoise, canadienne et internationale

L'article 182 du RSST résume l'esprit du règlement et prescrit de rendre toutes les zones dangereuses d'une machine inaccessibles à défaut de quoi, au moins un moyen de protection doit être installé de façon à rendre cette zone sécuritaire pour le travailleur. L'article 186 propose une alternative pour les situations lors desquelles certaines interventions, qui ne sont pas considérées comme faisant partie des opérations courantes, doivent être réalisées alors que la machine est en mouvement. Cet article semble s'inspirer des prescriptions normatives européennes publiées avant l'adoption du règlement québécois en 2001 et dans lesquelles ces recommandations étaient présentées dans le contexte de l'amélioration de la sécurité des travailleurs en prévoyant les réalités du travail et en adaptant les systèmes de commande des machines en conséquence [5]. L'approche de l'article 186 est conforme à la normalisation actuelle et est présentée dans la norme ISO 12100 [6] dont la dernière version a été publiée en 2010 :

6.2.11.9 Mode de commande prévu pour le réglage, l'apprentissage, le changement de processus de fabrication, la recherche de défauts, le nettoyage ou la maintenance.

Lorsque, pour le réglage, l'apprentissage, le changement de processus de fabrication, la recherche de défauts, le nettoyage ou la maintenance de la machine, il est nécessaire de déplacer ou de retirer un protecteur et/ou de neutraliser un dispositif de protection, et que pour effectuer ces opérations il est nécessaire que la machine ou une partie de la machine puisse être mise en marche, il faut assurer la sécurité de l'opérateur en utilisant un mode de commande spécifique qui, simultanément,

- a) rend inopérants tous les autres modes de commande,*
- b) n'autorise le fonctionnement des éléments dangereux que par actionnement continu d'un dispositif de validation, d'un dispositif de commande bimanuelle ou d'un dispositif de commande nécessitant une action maintenue,*
- c) n'autorise le fonctionnement des éléments dangereux que dans des conditions de risque réduit (à vitesse réduite, à puissance/effort réduit(e), pas à pas, par exemple au moyen d'un dispositif de commande de marche par à-coups), et*
- d) empêche le déclenchement de fonctions dangereuses par une action volontaire ou involontaire sur les capteurs de la machine.*

NOTE Pour certaines machines spéciales, d'autres mesures de prévention peuvent être appropriées.

Ce mode de commande doit être associé à une ou plusieurs des mesures suivantes:

- restriction aussi poussée que possible de l'accès à la zone dangereuse;*
- commande d'arrêt d'urgence à portée immédiate de l'opérateur;*
- dispositif de commande portatif (pendant d'apprentissage) et/ou commandes locales (permettant la surveillance des éléments commandés).*

Voir la CEI 60204-1. »

L'essence de ces recommandations est également perceptible dans de nombreux documents normatifs ou légaux utilisés en Europe. À titre d'exemple, le Code du travail en France, directement inspiré de la norme EN 292-2/A1 :1995 [5] elle-même à l'origine de la norme ISO 12100 [6], aborde d'une manière semblable le sujet, notamment dans la section 1.2.5 portant sur le sélecteur de mode de marche. Cette section stipule que :

Le mode de commande sélectionné doit avoir priorité sur tous les autres systèmes de commande, à l'exception de la commande d'arrêt d'urgence. Si la machine a été conçue et construite pour permettre son utilisation selon plusieurs modes de commande ou de fonctionnement présentant des niveaux de sécurité différents, tels que les modes de fonctionnement permettant le réglage, l'entretien, l'inspection, elle doit être munie d'un sélecteur de mode de marche verrouillable dans chaque position. Chaque position du sélecteur ne doit correspondre qu'à un seul mode de commande ou de fonctionnement. Le sélecteur peut être remplacé par d'autres moyens de sélection permettant de limiter l'utilisation de certaines fonctions de la machine à certaines catégories d'opérateurs, tels que codes d'accès à certaines fonctions de commandes numériques. Si, pour certaines opérations, la machine doit pouvoir fonctionner avec ses dispositifs de protection neutralisés, le sélecteur de mode de marche doit simultanément :

- *exclure le mode de commande automatique;*
- *n'autoriser la commande des mouvements que par des organes de service nécessitant une action maintenue;*
- *n'autoriser le fonctionnement des éléments mobiles dangereux que dans des conditions limitant le danger telles que marche à vitesse réduite, à effort réduit, par à-coups, ou autre disposition adéquate, et en évitant tout risque découlant d'un enchaînement de séquences;*
- *interdire tout mouvement susceptible de présenter un danger que pourrait déclencher une action volontaire ou involontaire sur les capteurs internes de la machine.*

En outre, au poste de réglage, l'opérateur doit avoir la maîtrise du fonctionnement des éléments sur lesquels il agit.

Cette technique de réduction des risques liés aux machines se retrouve également dans la Directive Machine [7] européenne notamment dans le paragraphe 1.2.5 sur la sélection des modes de commande ou de fonctionnement des machines qui stipule que :

«Si, pour certaines opérations, la machine doit pouvoir fonctionner alors qu'un protecteur a été déplacé ou retiré et/ou qu'un dispositif de protection a été neutralisé, le sélecteur de mode de commande ou de fonctionnement doit simultanément:

- *désactiver tous les autres modes de commande ou de fonctionnement,*
- *n'autoriser la mise en œuvre des fonctions dangereuses que par des organes de service nécessitant une action maintenue,*
- *n'autoriser la mise en œuvre des fonctions dangereuses que dans des conditions de risque réduit tout en évitant tout danger découlant d'un enchaînement de séquences,*
- *empêcher toute mise en œuvre des fonctions dangereuses par une action volontaire ou involontaire sur les capteurs de la machine. »*

À l'instar de la normalisation européenne et de la réglementation française, la réglementation québécoise rend donc obligatoire la modification des conditions d'intervention dans une zone

dangereuse pendant le fonctionnement, de façon à réduire le risque. Cependant, la directive machines européenne reste très vague quant aux moyens permettant d'offrir des « conditions de risque réduit ». En revanche, l'article 186 du RSST et le Code du travail français évoquent des concepts plus précis : la marche à vitesse réduite, à effort réduit, ou par à-coups. Selon le RSST, on considère que la sécurité des travailleurs ayant à réaliser des tâches liées à l'opération est assurée par l'application de l'article 182. Les exemples de types d'intervention qui sont présentés à l'article 186, tels que le réglage, le déblocage ou la maintenance, montrent que les tâches qui sont normalement réalisées à des fins de production, en sont exclues. L'article 186 du RSST vise donc à rendre plus sécuritaires les tâches qui sortent du contexte « normal » de l'utilisation de la machine lorsqu'elle est en mode production. La lecture de la réglementation européenne montre au contraire que quelle que soit la tâche, si elle exige l'accès à une zone dangereuse avec des éléments en mouvement, alors la machine doit être conforme aux obligations précédemment citées.

4.1.1.1 Réduction du risque

Les normes de type A, définissant les notions fondamentales et les principes généraux de conception et d'utilisation des machines et des composants, reprennent également la notion d'intervention *dans des conditions de risque réduit (à vitesse réduite, à puissance/effort réduit(e), pas à pas, par exemple au moyen d'un dispositif de commande de marche par à-coups)* [6]. La norme ISO/TR 14121-2 recommande notamment la *réduction de l'énergie (par exemple force plus faible, pression hydraulique ou pneumatique plus faible, hauteur de travail réduite, une vitesse réduite)* [8] comme moyen de réduction du risque par conception en affirmant que *s'il n'est pas possible d'éliminer le risque par conception, il convient de le réduire.*

Un des aspects importants des méthodes de réduction du risque proposées par ces prescriptions mise sur une diminution des niveaux d'énergie, mais aucun des règlements cités précédemment ne donne de valeurs précises quant aux limites d'énergie permettant d'assurer la sécurité des travailleurs.

Malgré le fait que le terme « condition de sécurité accrue », voire le concept de vitesse et d'effort réduit, reste peu précis, il semble que l'article 186 du RSST vise le même objectif de réduction du risque que celui de l'article 182. On présume que le risque doit être abaissé à un niveau aussi faible que possible, comparable à celui qui serait atteint par une application rigoureuse des prescriptions de l'article 182. Selon cette interprétation, le retrait ou le déplacement du protecteur, ou la neutralisation du dispositif de protection doivent donc être compensés par les mesures exigées à l'article 186 afin d'atteindre un niveau de risque comparable à celui visé à l'article 182.

4.1.1.2 Mode de fonctionnement et évitement du dommage

Utilisée seule comme principe de réduction du risque, la limitation des énergies ou des déplacements d'éléments jugés dangereux n'offre cependant pas toujours un niveau de protection absolu. Ce principe doit, en effet, être accompagné de mesures complémentaires qui permettront soit de limiter l'exposition au phénomène dangereux, soit d'augmenter la possibilité pour le travailleur d'éviter le dommage éventuel résultant d'un contact avec le même phénomène dangereux. La machine doit donc être conçue pour permettre ce mode de fonctionnement, que l'on appellera « mode vitesse et/ou effort réduits » dans la suite du rapport. Selon les

recommandations normatives et réglementaires présentées plus haut, ce mode de fonctionnement, lorsqu'il est sélectionné, devra désactiver tout autre mode de fonctionnement de la machine. En d'autres termes, il doit être prioritaire sur toute autre commande, à l'exception des dispositifs d'arrêt d'urgence qui, eux, doivent évidemment rester fonctionnels en tout temps.

En outre, la mise en mouvement de la machine doit être obligatoirement provoquée à l'aide d'une commande nécessitant une action maintenue par le travailleur. Les trois éléments principaux que le mode de fonctionnement à vitesse et/ou effort réduits doit respecter selon les réglementations susmentionnées sont résumés au tableau 2.

Tableau 2 – Récapitulatif des exigences des réglementations pour les modes « vitesse et/ou effort réduits ».

- Mode prioritaire sur toute autre commande excepté les arrêts d'urgence; - Nécessité d'utiliser une commande à action maintenue; - Ne doit permettre le fonctionnement des éléments dangereux que dans des conditions de sécurité accrues (ex. : vitesse réduite, effort réduit); - Toute action volontaire ou involontaire sur des capteurs de la machine ne doit pas provoquer de mise en mouvement d'éléments dangereux.
--

Seul l'article 186 du RSST n'a pas la 4^e exigence sur l'action volontaire ou non sur des capteurs de la machine.

4.1.2 Vitesse réduite

Le tableau 3 présente toutes les valeurs de vitesse réduite issues de la littérature, exprimées en millimètres par seconde (mm/s), par ordre croissant, avec les références des documents desquels ces valeurs sont tirées.

Tableau 3 – Valeurs de vitesse réduite de la littérature, classées par ordre croissant, avec indication des références.

SECTEUR	MACHINE - ÉLÉMENT DE LA MACHINE (si précisé)	PRESCRIPTION DE VITESSE* (mm/s)	SOURCE
Imprimerie	Presse à imprimer	8	[9]
Imprimerie	Machine d'impression à feuilles de vernissage (sauf machines à sérigraphier)	8	[10]
Imprimerie	Machine d'impression et de transformation du papier – Gaufreuse	8	[11]
Imprimerie	Onduleuse – colleuse double face Plieuse – colleuses Machine en ligne – margeur Presse à platine à alimentation automatique – Margeur	8	[12]
Imprimerie	Gaufreuse	8	[13]
Manufacturier	Presse plieuse hydraulique	10	[14]
Manufacturier	Presse	10	[15]
Manufacturier	Presse plieuse hydraulique	10	[16]
Manufacturier	Presse plieuse hydraulique	10	[17]
Manufacturier	Presse plieuse hydraulique	10	[18]
Industrie textile	Machine à tisser	10	[19]
Manufacturier	Système de fabrication intégré	10	[20]
Manufacturier	Presse à injection de plastique	10	[21]
Imprimerie	Presse à imprimer	17	[9]
Imprimerie	Système de reliure et de finition ³ (Binding and finishing system)	17	[13]
Imprimerie	Machine d'impression et de transformation du papier – Prescriptions communes	17	[22]
Robots industriels	Robot	17	[23]
Pâtes et papier	Bobineuse	17	[24]

³ Traduction libre

SECTEUR	MACHINE - ÉLÉMENT DE LA MACHINE (si précisé)	PRESCRIPTION DE VITESSE* (mm/s)	SOURCE
Fabrication	Presse à injection de plastique	25	[25]
Manufacturier	Presse à injection de plastique	30	[21]
Imprimerie	Presse à imprimer	33	[9]
Industrie textile	Général – Éléments avec des rouleaux (angles rentrants) Enrouleur	33	[26]
Manufacturier	Centre d'usinage à grande vitesse	33	[27]
Imprimerie	Dérouleur et enrouleur	33	[22]
Général	Système de fabrication intégré	33	[20]
Manufacturier	Centre d'usinage	33	[28]
Imprimerie	Presse à imprimer	50	[9]
Imprimerie	Massicot	50	[29]
Imprimerie	Presse à imprimer (rotatives) et machines de vernissage	50	[10]
Imprimerie	Massicot droit – Butée arrière	50	[30]
Imprimerie	Machine de transformation du papier – Unité de pliage longitudinale	50	[11]
Manufacturier	Centre d'usinage à grande vitesse	67	[27]
Pâtes et papier	Coupeuse – Unité de déroulage	80	[31]
Imprimerie	Presse à imprimer	83	[32]
Imprimerie	Gaufreuse – Rouleaux, contre rouleaux, rouleaux à laminier	83	[13]
Imprimerie	Machine d'impression et de transformation du papier – Prescriptions communes Enrouleur et dérouleur	83	[22]
Imprimerie	Presse à imprimer (à feuilles de vernissage)	83	[10]
Imprimerie	Dérouleur rotatif horizontal de bobine Rouleaux contre colleurs	83	[11]
Imprimerie	Onduleuse – Préchauffeur	83	[12]
Manufacturier	Centre d'usinage	83	[28]

SECTEUR	MACHINE - ÉLÉMENT DE LA MACHINE (si précisé)	PRESCRIPTION DE VITESSE* (mm/s)	SOURCE
Imprimerie	Machine à fabriquer des enveloppes et des pochettes – Groupe imprimant	100	[11]
Imprimerie	Onduleuse simple face	100	[12]
Imprimerie	Presse à imprimer (rotatives) et machines de vernissage	133	[10]
Manufacturier	Centre d'usinage	133	[28]
Imprimerie	Presse à imprimer	167	[9]
Imprimerie	Système de reliure et de finition ⁴ (Binding and finishing system)	167	[13]
Industrie textile	Industrie textile – Étireuse à barrettes	167	[33]
Imprimerie	Machine à relier par collage	167	[11]
Robots industriels	Robot	170	[34]
Robots industriels	Robot	200	[35]
Pâtes et papier	Calandre	200	[36]
Robots industriels	Robot	250	[37]
Général	Général	250	[38]
Robots industriels	Robot	250	[39]
Manufacturier	Système de fabrication intégré	250	[20]
Industrie textile	Transport aérien des matériaux traités	250	[26]
Général	Général	250	[8]
Imprimerie	Onduleuse – Raccordeur	250	[12]
Pâtes et papier	Machine de fabrication et de finition du papier – Prescriptions générales	250	[40]

⁴ Traduction libre

SECTEUR	MACHINE - ÉLÉMENT DE LA MACHINE (si précisé)	PRESCRIPTION DE VITESSE* (mm/s)	SOURCE
Pâtes et papier	Coupeuse	300	[31]
Imprimerie	Presse à imprimer	330	[9]
Mines	Boulonneuse de toit	330	[41]
Imprimerie	Dérouleur et enrouleur	330	[22]
Imprimerie	Ligne de production de livres à couverture rigide	330	[11]
Imprimerie	Onduleuse – Empileur	1500	[12]

* Les vitesses prescrites sont des vitesses linéaires (vitesse d'un objet en translation ou vitesse périphérique d'un objet en rotation)

La figure 2 montre la répartition des secteurs industriels (ou types de machine) en fonction du nombre de références au mode vitesse et/ou effort réduits (en des termes qualitatifs comme en valeurs précises ; une même valeur peut-être comptée plusieurs fois dans un même document). Les robots et les machines-outils pouvant être utilisés dans plusieurs secteurs sont considérés indépendamment.

Secteurs industriels répartis en fonction du nombre de valeurs/références au mode V/E réduits

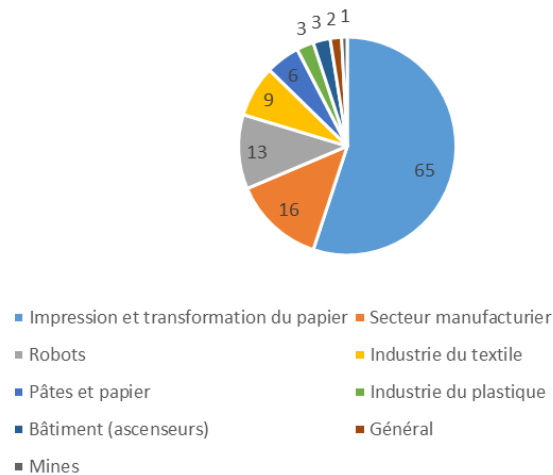


Figure 2 – Secteurs industriels/types de machine répartis en fonction du nombre de valeurs/références au mode V/E réduits.

On remarque que le secteur de l'impression et de la transformation du papier est de loin celui qui est le plus riche en recommandations (65 sur 118, soit 55 %). En effet, ce secteur comprend une multitude de machines différentes (presses à feuilles, presses rotatives, massicots, enrouleurs, dérouleurs, etc.) sur lesquelles les interventions sont fréquentes. Le domaine manufacturier, ainsi

que celui des machines-outils et des robots sont également relativement bien documentés (respectivement 16 et 13 sur 118, soit 14 % et 11 %). En considérant les machines et non le secteur au sens strict du terme, les robots sont les machines pour lesquelles on recense le plus d'informations sur le fonctionnement à vitesse réduite.

4.1.3 Effort réduit

Le tableau 4 présente toutes les valeurs d'effort réduit issues de la littérature, exprimées en Newton (N), par ordre croissant, avec les références des documents desquels ces valeurs sont tirées.

Tableau 4 – Valeurs de force/effort de la littérature avec indication des références.

DOMAINE	MACHINE - ÉLÉMENT DE LA MACHINE – PHÉNOMÈNE DANGEREUX	PRESCRIPTION D'EFFORT (N)	SOURCE*
Imprimerie	Presse à platine à alimentation manuelle	20	[12]
Imprimerie	Presse à imprimer	50	[32]
Imprimerie	Système de reliure et de finition ⁵ (Binding and finishing system) – Protecteurs mobiles	50	[13]
Imprimerie	Presse à imprimer – Protecteurs mobiles motorisés	50	[10]
Imprimerie	Brocheuse à fil métallique, riveteuse, machine à poser les œillets et machine àagrafer (alimentation manuelle) Encarteuse – piqueteuse Machine à fabriquer les enveloppes – Table de recette avec disques de séparation	50	[11]
Imprimerie	Plieuse-colleuse – Courroie de traction	70	[12]
Général	Général	75	[41]
Général	Général	75	[42]
Imprimerie	Plieuse-colleuse – Zone de pressage	100	[12]
Bâtiment	Ascenseur – Porte	135	[44]
Général	Général	150	[42]
Imprimerie	Presse à imprimer	150	[32]
Imprimerie	Système de reliure et de finition ⁴ (Binding and finishing system)	150	[13]
Général	Général	150	[43]

⁵ Traduction libre

DOMAINE	MACHINE - ÉLÉMENT DE LA MACHINE – PHÉNOMÈNE DANGEREUX	PRESCRIPTION D'EFFORT (N)	SOURCE*
Général	Général – Protecteurs mobiles	150	[45]
Imprimerie	Presse à imprimer – Protecteurs mobiles motorisés Machine de sérigraphie	150	[10]
Imprimerie	Machine à imprimer et à découper des répertoires	150	[30]
Imprimerie	Onduleuse – Colleuse double face	150	[12]
Bâtiment	Ascenseur – Portes coulissant horizontalement et à manœuvre automatique	150	[46]
Pâtes et papier	Machine de fabrication et de finition du papier – Prescriptions contre les risques d'écrasement	150	[40]
Imprimerie	Machine de contre-collage par colle	200	[11]
Imprimerie	Système de reliure et de finition ⁶ (Binding and finishing system) – Compteur-empileur	200	[13]
Imprimerie	Presse à imprimer	300	[9]
Imprimerie	Onduleuse – Raccordeurs Machine en ligne - Margeur	300	[12]
Imprimerie	Système de reliure et de finition (Binding and finishing system)	300	[29]
Imprimerie	Massicot droit	300	[47]
Imprimerie	Dérouleur et enrouleur	300	[22]
Imprimerie	Machine à sérigraphier	300	[10]
Imprimerie	Massicot droit – Presse papier	300	[30]
Imprimerie	Système de reliure et de finition (Binding and finishing system)	500	[29]
Imprimerie	Massicot droit	500	[47]
Imprimerie	Massicot droit – Presse papier Massicot droit – Dispositifs d'alimentation et de recette intégrés	500	[30]
Imprimerie	Plieuse-colleuse – Zone de pressage	500	[12]

* Des sources portant parfois sur plusieurs machines ou variantes de machine, certaines peuvent recommander à plusieurs reprises la même valeur.

⁶ Traduction libre

4.1.4 Énergie cinétique réduite

Le tableau 5 présente les valeurs d'énergie cinétique issues de la littérature, exprimées en joules (J), par ordre croissant, avec les références des documents desquels ces valeurs sont tirées.

Tableau 5 – Valeurs d'énergie cinétique de la littérature avec indication des références.

DOMAINE	MACHINE - ÉLÉMENT DE LA MACHINE – PHÉNOMÈNE DANGEREUX	PRESCRIPTION D'ÉNERGIE (J)	SOURCE*
Bâtiment	Ascenseurs – porte	3,5	[44]
Général	Général	4	[42]
Général	Général	4	[43]
Général	Général – Protecteurs mobiles	4	[45]
Bâtiment	Ascenseur – Porte	4	[46]
Général	Général	10	[42]
Général	Général	10	[43]
Général	Général – Protecteurs mobiles	10	[45]
Bâtiment	Ascenseur – Porte	10	[46]

* Des sources portant parfois sur plusieurs machines ou variantes de machine, certaines peuvent recommander à plusieurs reprises la même valeur.

4.1.5 Pression réduite

Le tableau 6 présente toutes les valeurs de pression issues de la littérature, exprimées en Newton par centimètre carré (N/cm²), par ordre croissant, avec les références des documents desquels ces valeurs sont tirées.

Tableau 6 – Valeurs de pression de la littérature avec indication des références.

DOMAINE	MACHINE - ÉLÉMENT DE LA MACHINE – PHÉNOMÈNE DANGEREUX	PRESCRIPTION DE PRESSION (N/CM ²)	SOURCE*
Général	Général Machine d'emballage	10	[52] [53]
Général	Général Machine d'emballage	20	[52] [53]
Emballage	Cercleuse	25	[48]
Emballage	Machine de groupe et d'emballage secondaire	25	[59]
Général	Général Machine d'emballage	25	[52] [53]
Général	Général Machine d'emballage	30 ; 35 ; 45	[52] [53]
Général	Général	50	[42]
	Machine de groupe et d'emballage secondaire	50	[59]
Général	Général Machine d'emballage	50	[52] [53]
Général	Général Machine d'emballage	60 ; 70 ; 75 ; 80	[52] [53]

* Des sources portant parfois sur plusieurs machines ou variantes de machine, certaines peuvent recommander à plusieurs reprises la même valeur.

4.1.6 Énergie thermique réduite

La température d'un élément de machine peut évidemment être à l'origine de blessures graves pour les travailleurs. Au même titre que les autres formes d'énergie dont il a été question jusqu'à présent, la réduction de la température des éléments jugés dangereux peut être considérée comme un moyen utile de réduction du risque.

La norme ISO 13732-1 [49] donne les valeurs seuils de température pouvant causer des brûlures lorsque la peau de l'être humain entre en contact avec une surface solide chaude pour des durées de contact de 0,5 seconde ou plus.

Comme le montre l'exemple du graphique à la figure 3, les valeurs de température et de temps d'exposition sont définies et peuvent servir à déterminer de façon précise les risques auxquels les travailleurs peuvent être exposés. Bien qu'aucun exemple n'ait été recensé dans la littérature dans le cadre de ce projet, il est possible de penser que la réduction de la température peut aisément être utilisée comme moyen de réduction du risque dans le contexte de l'application de l'article 186 du RSST et des informations contenues dans la norme ISO 13732-1.

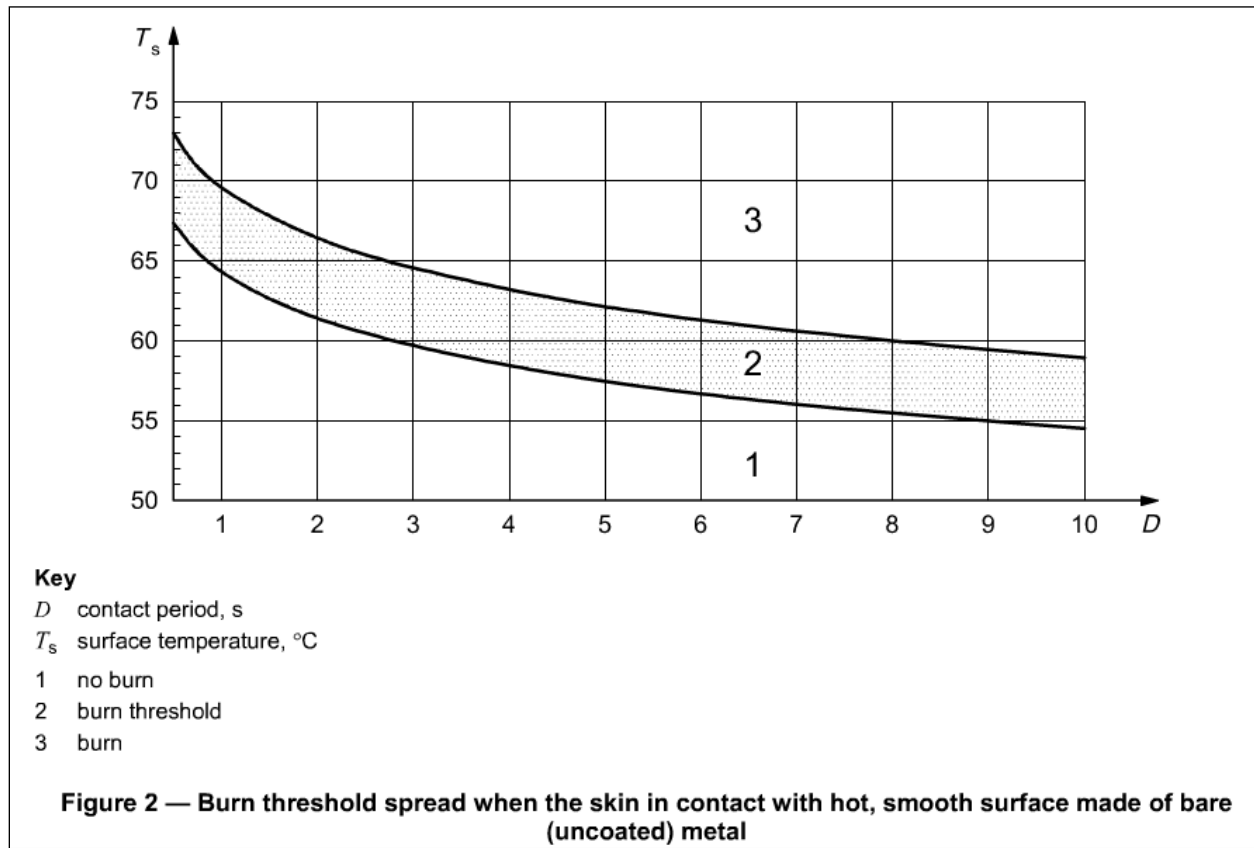


Figure 3 – Figure extraite de la norme ISO 13732-1⁷ sur les valeurs seuils de température pouvant causer des brûlures.

4.1.7 Études spécifiques pour déterminer les valeurs d'énergie réduite

4.1.7.1 Détermination d'une vitesse réduite sécuritaire pour les robots

Les résultats de deux études (Beauchamp et coll. [34], Kuivanen et coll. [50]) visant à déterminer une vitesse réduite sécuritaire pour les robots ont été recensés dans la littérature scientifique.

Ces deux études présentent un protocole semblable : le sujet se trouve dans l'enceinte du robot et effectue une tâche pour simuler un travail. Le robot exécute un programme avec des « erreurs » programmées pouvant survenir de façon aléatoire. Le temps de réaction du sujet à la détection de l'anomalie ou à l'impact simulé est alors mesuré en fonction de plusieurs paramètres : luminosité, contraste des couleurs du robot et de l'arrière-plan pour Beauchamp et coll., vitesse du robot et position du sujet par rapport au robot au moment de l'anomalie pour Beauchamp et coll. et pour Kuivanen et coll.

⁷ Les extraits de la norme ISO 13732-1 : 2008 "Ergonomie des ambiances thermiques : méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces. Partie 1, surfaces chaudes", sont reproduits avec l'accord d'AFNOR. Seul le texte original et complet de la norme telle que diffusée par AFNOR Éditions – accessible via le site internet www.boutique.afnor.org – a valeur normative.

Beauchamp et coll. ont conclu que la vitesse de 250 mm/s recommandée dans les normes n'est valable que si le travailleur utilise un pendant de programmation équipé d'une poignée de validation (mouvements du robot stoppés si relâchée). Cependant, à l'époque de la rédaction de l'article décrivant cette étude (1991), peu de pendants de programmation étaient équipés de telles poignées. Les auteurs recommandaient donc une vitesse réduite de 170 mm/s, en se basant sur leurs résultats.

Quant à Kuivanen et coll., leurs résultats montrent que le nombre de collisions augmente significativement à partir de vitesses supérieures à 150 mm/s. D'après le mode opératoire, l'opérateur n'a pas le contrôle du robot en permanence (n'utilisant pas de pendant de programmation). Ils concluent donc également qu'il faudrait revoir à la baisse la recommandation de 250 mm/s et baser la nouvelle recommandation sur des études tenant compte de la capacité d'un humain à détecter et à éviter une collision avec un robot.

Une seule étude servant à déterminer un modèle mathématique de collision, qui permettrait de limiter le recours à des études expérimentales longues et coûteuses, a été recensée [51]. Dans cette étude de Park et coll., les données issues des simulations d'impact avec un robot au niveau de la tête et de la poitrine ont été comparées à des données expérimentales (obtenues avec un mannequin, ou un cadavre dans le cas d'un choc au nez). La surface de contact utilisée était contondante. La variable restante qui entre en jeu dans la détermination d'une vitesse sécuritaire était alors la masse de l'ensemble bras de robot et charge. Bien que l'objectif de l'article soit différent, on peut tout de même en retenir que la vitesse maximale sécuritaire serait différente d'un robot à l'autre, en fonction de sa masse. Park et coll. concluent que le modèle mathématique est relativement fiable et peut être utilisé pour étudier des mécanismes de sécurité passive (c'est-à-dire ne nécessitant pas d'intervention humaine, comme pour un coussin gonflable d'une voiture, contrairement à un bouton d'arrêt d'urgence par exemple), ou pour des systèmes de commande relatifs à la sécurité. De plus, Park et coll. constatent que des dommages importants comme une fracture du nez ou de la thyroïde et du cartilage cricoïde, pourraient survenir avec la plupart des robots industriels (sauf si la masse du bras et de la charge est inférieure à 4 kg).

4.1.7.2 Détermination des forces et pressions surfaciques admissibles par le corps humain

L'Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) a effectué une étude expérimentale qui a permis d'estimer les valeurs limites de résistance aux efforts des différentes parties du corps humain [52]. Les mesures ont été effectuées sur un mannequin présentant des propriétés de résistance et de déformation proches de celles du corps humain. Les critères utilisés pour déterminer s'il y aurait eu blessure sur un corps humain correspondent à la déformation subie par le mannequin au moment de l'impact. Les résultats de l'étude sont repris dans l'annexe B de la norme NF EN 415-10 [53] et présentés au tableau 7.

Tableau 7 – Tableau extrait de la norme NF EN 415-10⁸ sur les forces d'écrasement, forces de choc et pressions surfaciques statique limites admissibles par le corps humain.

Partie du corps		Détail de la partie du corps	Force d'écrasement	Force du choc	Pression statique à la surface du corps
			[N]	[N]	[N/cm ²]
1. Tête et cou	1.1	Crâne/front	130	175	30
	1.2	Visage	65	90	20
	1.3	Cou (parties latérales/nuque)	145	190	50
	1.4	Cou (partie avant/larynx)	35	35	10
2. Tronc	2.1	Dos/épaules	210	250	70
	2.2	Cage thoracique	140	210	45
	2.3	Ventre	110	160	35
	2.4	Bassin	180	250	75
	2.5	Fesses	210	250	80
3. Membres supérieurs	3.1	Bras/articulation du coude	150	190	50
	3.2	Avant-bras/articulation du poignet	160	220	50
	3.3	Main/doigt	135	180	60
4. Membres inférieurs	4.1	Cuisse/genou	220	250	80
	4.2	Partie inférieure de la jambe	140	170	45
	4.3	Pieds/orteils/articulations	125	160	45

Les résultats montrent que les limites admissibles sont différentes selon la région du corps humain concernée et que les forces de choc (dynamique) admissibles sont toujours plus élevées ou égales aux forces d'écrasement (statiques).

4.1.8 Moyens complémentaires de réduction du risque

En plus de présenter des recommandations sur les niveaux de vitesse et d'effort pour réduire le risque lors d'interventions dans des zones dangereuses d'une machine pendant son fonctionnement, la littérature propose des mesures ou moyens de protections complémentaires associés aux vitesses et efforts réduits.

⁸ Les extraits de la norme NF EN 415-10 : 2014 "Sécurité des machines d'emballage. Partie 10, prescriptions générales", sont reproduits avec l'accord d'AFNOR. Seul le texte original et complet de la norme telle que diffusée par AFNOR Éditions – accessible via le site internet www.boutique.afnor.org – a valeur normative.

La liste suivante présente les moyens de protection complémentaires les plus fréquemment recensés dans la littérature :

- Commande par action maintenue ;
- Arrêt d'urgence à proximité ;
- Dispositif d'ouverture automatique (ou d'inversement du mouvement) ;
- Débattement de sécurité ;
- Dispositif de validation ;
- Écartement minimum entre un élément fixe (ex. : bâti) et un élément mobile ;
- Signal sonore ;
- Sélecteur de mode de fonctionnement ;
- Formation ;
- Disposition de la commande de sorte que la zone dangereuse soit visible par la personne qui actionne la commande.

Les moyens de protection associés au mode vitesse/effort réduits sont de différentes natures et leur efficacité est variable. Les commandes manuelles ou les commandes par action maintenue sont les moyens de protection les plus courants et sont généralement recommandées pour la mise en marche de la machine tout en permettant au travailleur de garder la maîtrise des éléments dangereux en tout temps lorsqu'il se trouve en zone dangereuse. De plus, dans tous les cas, et en particulier lorsqu'il y a plusieurs travailleurs intervenant simultanément dans la zone dangereuse, il est recommandé que la commande soit située de sorte que les zones dangereuses associées soient visibles par la personne qui active le mouvement [10]. Le travailleur aux commandes peut alors communiquer aisément avec ses collègues, mais également stopper les mouvements dès qu'un problème survient, ce qui devrait provoquer l'arrêt de la machine. L'utilisation d'une commande par action maintenue est d'ailleurs une des exigences de l'article 186 du RSST du Québec.

Dans le même ordre d'idées, certaines normes présentent des recommandations sur le niveau de fiabilité du système de commande des dispositifs complémentaires tels que les commandes par action maintenue. À titre d'exemple, la norme ANSI B65.1 :2011 [32] donne les indications suivantes au sujet des commandes par action maintenue :

Guard circuitry for the hold-to-run condition shall satisfy the requirements of PLr d of ISO 13849-1 or SIL 2 of IEC 62061.

Les recommandations proposées dans la littérature sur le niveau de fiabilité des systèmes de commande sont rassemblées au tableau 8.

Tableau 8 – Recommandations sur le niveau de fiabilité des systèmes de commande du mode de fonctionnement à énergie réduite.

NORME	RECOMMANDATION(S) SUR LE NIVEAU DE FIABILITÉ
EN 1010-5:2005	Catégorie 1 de l'EN 954-1:1996
ANSI B65.1:2005 et B65.2:2005	Catégorie 3 de l'ISO 13849-1:1999
ANSI B65.1:2011	PL _r d de l'ISO 13849-1 :1999 ou SIL 2 de l'IEC 62061
NF EN 1010-4:2004	Catégorie b de l'EN 954:1996
ISO 11111-6:2009	Catégorie 3 ou 4 de l'ISO 13849-1:1999
NF EN 12417+A2:2009	Catégorie 3 de l'EN 954:1996
NF EN 1034-5+A1:2010	Catégorie 1 de l'EN 954:1996

À noter que les catégories de l'EN 954-1:1996 [54] sont les mêmes que celles de l'ISO 13849-1:1999 [55].

4.2 Résultats issus des visites en entreprises

Le second objectif de l'étude a consisté à effectuer des visites dans différents types d'entreprise afin de :

- Comprendre et caractériser le contexte entourant les interventions en mode énergie réduite;
- Noter et mesurer, si possible, les valeurs des énergies réduites utilisées;
- Comprendre les choix effectués et identifier les références utilisées par les entreprises;
- Déterminer les facteurs influençant le choix des valeurs, c'est-à-dire les raisons expliquant l'utilisation de ces valeurs.

Les visites réalisées en usine ont permis d'observer l'application de l'article 186 dans des contextes réels. Un total de neuf visites a été effectué, au cours desquelles quinze machines ont été observées dans secteurs différents, tel que décrit dans le tableau 9 et le tableau 10. Le tableau 9 résume le cadre des visites en présentant les types de machine observés et les secteurs industriels.

Tableau 9 – Machines observées lors des visites et leur secteur industriel.

VISITE	MACHINE(S)	SECTEUR INDUSTRIEL
A	1 centre d'usinage horizontal	Fabrication
B	1 bobineuse	Pâtes et papier
C	1 presse à imprimer	Imprimerie
D	1 presse à imprimer, 2 machines de transformation du carton (extrudeuses), 1 machine de récupération du papier (dérouleur/enrouleur)	Agroalimentaire
E	1 presse à imprimer	Imprimerie
F	3 robots 6 axes (2 palettiseurs, 1 ensacheur) et 1 robot parallèle (trieur)	Horticulture et agroalimentaire
G	1 robot 6 axes	Agroalimentaire
H	1 robot 6 axes	Agroalimentaire
I	1 presse à imprimer	Imprimerie

Le tableau 10 présente les principales conditions d'intervention observées lors des visites. Lorsqu'il n'était pas possible d'observer directement des interventions en mode vitesse ou effort réduits, l'information a été tirée des réponses aux questions posées aux intervenants qui appuyaient leurs propos en montrant, notamment, les différentes commandes utilisées. Il sera alors question de simulation, plutôt que d'observation. Les colonnes du tableau 10 décrivent (i) les machines concernées, (ii) les phénomènes dangereux présents dans la zone d'intervention et contre lesquels il faut se protéger, (iii) la commande utilisée, (iv) la neutralisation ou non d'un protecteur ou d'un dispositif de sécurité, (v) les valeurs des vitesses, (vi) les moyens de protection complémentaires et (vii) si le mode vitesse/effort réduits est installé d'origine (par le fabricant) ou si l'entreprise l'a installé par la suite.

Tableau 10 – Conditions d'intervention observées lors des visites en entreprise.

MACHINE	PHÉNOMÈNE DANGEREUX	COMMANDE UTILISÉE	NEUTRALISATION ?	VALEUR DE VITESSE	PROTECTION(S) COMPLÉMENTAIRE(S)	MODE D'ORIGINE ?
Centre d'usinage horizontal	Coincement / écrasement / cisaillement	Télécommande filaire avec une roulette (un cran = avance d'un pas, si on tourne en continu → avance continue)	Oui	$V_x = 27 \text{ mm/s}$ (1,63 m/min) $V_y = 86 \text{ mm/s}$ (5,15 m/min) $V_z = 70 \text{ mm/s}$ (4,17 m/min)	- Arrêt d'urgence sur télécommande - Avance par à-coups	Oui
Bobineuse	Couteaux Angles rentrants Rotation de la bobine mère (risque en cas de bris du papier à haute vitesse)	Panneau de commande (avance continue)	Oui	$V1 = 333 \text{ mm/s}$ (20 m/min) $V2 = 2533 \text{ mm/s}$ (152 m/min) Selon opération effectuée	- Protecteur d'angle rentrant faisant office de guide pour la bande de papier - Ajout de protecteurs fixes et de portes avec dispositif d'interverrouillage ⁹ à l'avant et à l'arrière	Oui pour V1 Non pour V2
Presse à imprimer	Angles rentrants Zone de coincement / écrasement	Pédale (rotation) Panneau de commande local (translation)	Non	Rotation = 33 mm/s (2 m/min) Translation = 47 mm/s (2,8 m/min)	- Protecteur d'angle rentrant - Arrêt d'urgence (non accessible depuis ZD) - Commande à action maintenue	Oui

⁹ Ce terme est utilisé au sens de la norme ISO 12100:2010 [6] dans l'ensemble du document, soit : protecteur associé à un dispositif de verrouillage et à un dispositif de blocage, de manière à assurer, avec le système de commande de la machine, que :

- les fonctions dangereuses de la machine « couvertes » par le protecteur ne peuvent pas s'accomplir tant que le protecteur n'est pas fermé et bloqué,
- le protecteur reste bloqué en position de fermeture jusqu'à ce que le risque dû aux fonctions dangereuses de la machine « couvertes » par le protecteur ait disparu, et
- quand le protecteur est bloqué en position de fermeture, les fonctions dangereuses « couvertes » par le protecteur peuvent s'accomplir. La fermeture et le blocage du protecteur ne déclenchent pas par eux-mêmes les fonctions dangereuses de la machine

MACHINE	PHÉNOMÈNE DANGEREUX	COMMANDE UTILISÉE	NEUTRALISATION ?	VALEUR DE VITESSE	PROTECTION(S) COMPLÉMENTAIRE(S)	MODE D'ORIGINE ?
Presse à imprimer	Angles rentrants Coincement (rouleau presseur)	Panneau de commande (avance continue)	Oui	167 mm/s (10 m/min) Ou vitesse de production Selon l'opération effectuée	- Des arrêts d'urgence, - Des protecteurs mobiles avec dispositif d'interverrouillage, - Protecteur fixe d'angle rentrant, - Poignée de validation (Manette sans fil) - Avertisseurs sonores	Non
Extrudeuse	Angles rentrants	Panneau de commande (avance continue)	Oui	167 mm/s (10 m/min) 1667 mm/s (100 m/min) Selon opération effectuée	- Arrêts d'urgence - Protecteurs mobiles avec dispositif d'interverrouillage, - Protecteur fixe d'angle rentrant, - Poignée de validation (Manette sans fil)	Non
Extrudeuse	Angles rentrants	Panneau de commande (avance continue)	Oui	2500 mm/s (150 m/min) (nettoyage) 133 mm/s (8 m/min) (risque d'écrasement dû à un rouleau presseur et AR non protégés)	- Boutons et câbles d'arrêt d'urgence - Quelques protecteurs d'angle rentrant - Des protecteurs mobiles avec dispositif d'interverrouillage	Non
Dérrouleur / enrouleur	Angles rentrants Coincement (table basculante)	Panneau de commande (avance continue)	Oui	133 mm/s (8 m/min)	- Arrêt d'urgence - Protecteur mobile avec dispositif d'interverrouillage - Détecteur surfacique à balayage	Non

MACHINE	PHÉNOMÈNE DANGEREUX	COMMANDE UTILISÉE	NEUTRALISATION ?	VALEUR DE VITESSE	PROTECTION(S) COMPLÉMENTAIRE(S)	MODE D'ORIGINE ?
Presse à imprimer	Angles rentrants	Panneau de commande local (action maintenue) Télécommande (dans le tunnel, action maintenue)	Oui	83 mm/s (5 m/min)	- Protecteur d'angle rentrant - Arrêt d'urgence - Toutes les autres commandes sont désactivées	Oui
Robot 6 axes	Mouvement du bras-Choc Coincement	Télécommande filaire (action maintenue et bouton de validation)	Oui	max 250 mm/s (15 m/min)	- Arrêt d'urgence - Système de transfert de clé (convoyeurs arrêtés)	Oui
Robot 6 axes	Mouvement du bras-Choc Coincement	Télécommande filaire (action maintenue et bouton de validation)	Oui	max 250 mm/s (15 m/min)	- Arrêt d'urgence - Système de transfert de clé (convoyeurs arrêtés)	Oui
Robot 6 axes	Mouvement du bras-Choc Coincement	Télécommande filaire (action maintenue et bouton de validation)	Oui	max 250 mm/s (15 m/min)	- Arrêt d'urgence - Barrage immatériel	Oui
Robot parallèle	Mouvement du bras-Choc Coincement	Télécommande filaire (action maintenue et bouton de validation)	Oui	max 250 mm/s (15 m/min)	- Protecteur avec dispositif de verrouillage - Arrêt d'urgence	Oui
Robot 6 axes	Mouvement du bras-Choc Coincement	Télécommande filaire (action maintenue et bouton de validation)	Oui	max 250 mm/s (15 m/min)	- Protecteur avec dispositif d'interverrouillage - Arrêt d'urgence	Oui
Robot 6 axes	Mouvement du bras-Choc Coincement	Télécommande filaire (action maintenue et bouton de validation)	Oui	max 250 mm/s (15 m/min)	- Protecteur avec dispositif de verrouillage (2 pour l'enceinte)	Oui
Presse à imprimer	Angles rentrants	Panneau de commande (avance continue)	Non	Vitesse de phasage = 38 à 76 mm/s (de 2,27 à 4,55 m/min) Marche lente = 167 (10 à 20 m/min) Selon le format du papier	- Arrêt d'urgence	Oui

4.2.1 Caractérisation des interventions recensées nécessitant le mode V/E réduits

Au cours des visites, les principales interventions nécessitant le fonctionnement d'éléments dangereux accessibles ont été recensées. Les données recueillies à ce sujet sont rassemblées au tableau 11.

Les colonnes du tableau indiquent : (i) la machine concernée, (ii) la nature de l'intervention, (iii) la durée approximative de l'intervention, (iv) une indication si l'intervention est réalisée en vitesse réduite ou en vitesse de production, et (v) les réponses obtenues des entreprises pour expliquer leur choix ou la situation.

Quatre interventions sont effectuées à vitesse de production (non réduite) pour lesquelles deux cas de figure se présentent: le premier concerne des interventions qui pourraient être effectuées à l'arrêt, mais qui ne le sont pas, pour des considérations de temps et de perte de papier. Le second comprend des interventions d'ajustement pour lesquelles il n'est pas jugé possible d'utiliser des vitesses plus faibles, sans quoi les ajustements ne seraient pas adéquats. La plupart des interventions nécessitant le fonctionnement d'éléments dangereux sont effectuées à des vitesses réduites.

Tableau 11 – Interventions recensées nécessitant le mode V/E réduits.

MACHINE	INTERVENTION	DURÉE APPROXIMATIVE	VITESSE RÉDUITE (VR) OU DE PRODUCTION (VP)	JUSTIFICATION DONNÉE POUR LE FONCTIONNEMENT DES ÉLÉMENTS DANGEREUX
Centre d'usinage horizontal	Vérification des références	1 h	VR	Nécessité de placer l'outil à des positions précises pour les mesures, pendant qu'on contrôle et lit les mesures sur l'outillage
	Jeux fonctionnels	30 min à 12 h	VR	
	Mesures (installation et calibrage du matériel de mesure)	30 min à 3 h	VR	
Bobineuse	Enfilage du papier	10 min	VR	Si les rouleaux ne tournent pas, il est impossible de faire passer la bande de papier
	Contrôle qualité du papier	2 min	VR	Contrôle par transparence d'une certaine longueur de la bande de papier
Extrudeuse	Enfilage manuel du papier	30 min	VR	Si les rouleaux ne tournent pas, il est impossible de faire passer la bande de papier
	Débloquer les couteaux, replacer la cannelle	3-4 min	VP	Pour ne pas perdre trop de temps pour une opération très brève
	Ajustement de l'apprêt	5 min	VR ou VP	Pour que l'apprêt ne colle pas
	Ajustements divers	2 à 4 min	VP	Les ajustements ne sont pas bons s'ils sont effectués à une autre vitesse que celle de production
	Nettoyage de rouleaux	15 min	VR	Pour avoir accès à toute la surface du rouleau
Dérouleuse / enrouleuse	Enfilage manuel du papier	10 min	VR	Si les rouleaux ne tournent pas, il est impossible de faire passer la bande de papier
	Repérage des défauts	30-45 min	VR	Besoin d'observer la bande de papier pendant qu'elle est déroulée pour repérer les défauts dans le papier
Presse à imprimer	Enfilage manuel du papier	30 min à 1 h	VR	Si les rouleaux ne tournent pas, il est impossible de faire passer la bande de papier
	Nettoyage de rouleaux	15 min	VR	Pour avoir accès à toute la surface du rouleau
	Nettoyage de rouleaux	Quelques secondes	VP	Pour ne pas perdre trop de temps pour une opération très brève
	Ajustements liés au format	1-2 min	VR	Pour vérifier les ajustements

MACHINE	INTERVENTION	DURÉE APPROXIMATIVE	VITESSE RÉDUITE (VR) OU DE PRODUCTION (VP)	JUSTIFICATION DONNÉE POUR LE FONCTIONNEMENT DES ÉLÉMENTS DANGEREUX
	Maintenance des rouleaux distributeurs	Jusqu'à 2 h	VR	Pour vérifier l'épaisseur et la répartition d'encre entre deux rouleaux
	Déblocage	30 min à 1h30	VR	Mouvement nécessaire pour débloquer
	Changement de blanchet	30 min	VR	Pour enrouler le blanchet autour du rouleau
	Réglage de « l'œil magique »	Jusqu'à quelques heures	VR	Vérification des caméras qui « lisent » le papier qui défile

4.2.2 Accès aux zones dangereuses et protections complémentaires

L'article 186 prescrit les solutions à appliquer dans les cas où les travailleurs doivent accéder à la zone dangereuse d'une machine pendant qu'elle est en marche. Les observations montrent que l'application de ces prescriptions n'est pas toujours conforme au règlement.

4.2.2.1 L'accès aux zones dangereuses et la neutralisation des dispositifs de protection

Une des premières caractéristiques de l'application de l'article 186 est l'accès aux zones dangereuses de la machine. Une zone est notamment qualifiée comme étant dangereuse si les éléments dangereux sont accessibles. L'article 186 spécifie donc que pour accéder à ces zones, le travailleur doit nécessairement *déplacer ou retirer un protecteur, ou neutraliser un dispositif de protection*. Le tableau 12 présente les moyens utilisés pour accéder aux différentes zones dangereuses observées pendant les visites.

Tableau 12 – Moyens d'accès utilisés lors des interventions observées ou simulées.

	MOYEN D'ACCÈS	NOMBRE / N ^{BRE} TOTAL DE MOYENS D'ACCÈS
A	Travail proche du phénomène dangereux, sans retirer de protecteur fixe ou mobile	2 / 17
B	Ouverture d'un protecteur sans dispositif de protection	1 / 17
C	Ouverture d'un protecteur avec dispositif de verrouillage	3 / 17
D	Ouverture d'un protecteur avec dispositif d'interverrouillage	6 / 17
E	Ouverture d'un protecteur avec système de transfert de clé	2 / 17
F	Désactivation d'un dispositif optoélectronique	2 / 17
G	Sortie des éléments dangereux hors de la machine (voir figure 4)	1 / 17

Certaines machines, comme les presses à imprimer, ont différents moyens d'accès à plusieurs zones dangereuses. Pour ces machines, la majorité des accès sont restreints par des protecteurs mobiles, mais aux extrémités, là où il est nécessaire de passer des bobines de papier, un barrage immatériel est souvent plus commode pour être en mesure de couvrir une grande distance. Dans un cas (B), le dispositif de verrouillage d'un protecteur mobile a été retiré pour des raisons indépendantes du mode de fonctionnement à vitesse réduite. Cette modification a un impact direct sur la sécurité des intervenants qui l'utilisent en rendant la zone dangereuse accessible.

Par ailleurs, sur les dix-sept moyens d'accès recensés, treize d'entre eux impliquent la neutralisation d'un dispositif de protection. On parle de neutralisation au regard de la définition des dispositifs de protection dont un des rôles principaux est d'empêcher la mise en mouvement des éléments dangereux lorsqu'ils sont activés. Il s'agissait ici de neutralisations « contrôlées »,

par opposition à une neutralisation d'un dispositif de protection dont on annihile purement et simplement l'effet, sans prendre d'autre disposition. Ici, les dispositifs de protection autorisaient le fonctionnement des éléments dangereux non seulement lorsqu'un mode de fonctionnement particulier était sélectionné (conformément à l'article 186), mais également à condition que les vitesses ne dépassent pas la limite maximale jugée sécuritaire.

Pour l'opération de changement de plaque et de nettoyage de blanchet, une des presses observées propose un choix particulier. En effet, les deux rouleaux concernés sont sur une « cassette » qui peut être sortie et rentrée dans l'unité d'impression (figure 4). Les éléments constituant le phénomène dangereux sont ainsi déplacés hors de la machine et forment une nouvelle zone dangereuse, mais dont l'environnement est davantage maîtrisé.



Figure 4 – De gauche à droite : cassette sortie, partiellement rentrée et totalement rentrée de l'unité d'impression.

4.2.3 Les modes et types de commande utilisés

4.2.3.1 Marche continue des éléments dangereux

Le tableau 10, présenté à la section 4.2, indique le type de commande utilisé pour le fonctionnement à vitesse réduite. L'avance continue est un des moyens observés sur des machines d'impression, de transformation du carton et une bobineuse. Les principaux risques sur ces machines sont constitués d'angles rentrants. Toutefois, pour la bobineuse, le risque identifié était le fouettement en cas de bris du papier à haute vitesse. Ce phénomène dangereux est quasiment annulé à des vitesses réduites, aussi la réduction de la vitesse semble-t-elle suffisante même en avance continue.

En cas d'entraînement dans un angle rentrant, la réduction de la vitesse permet d'améliorer la possibilité d'évitement, sans réduire le dommage possible. Dans ces conditions, la notion de maîtrise des mouvements des éléments dangereux devient plus importante pour une meilleure possibilité d'évitement. Dans une des usines, les opérations effectuées pendant le fonctionnement des éléments dangereux se font en avance continue, soit à vitesse de production, soit à vitesse

réduite. À haute vitesse, les travailleurs doivent maintenir en permanence un bouton de validation sur une télécommande. Son relâchement provoque un arrêt d'urgence. En revanche, pour l'enfilage du papier, les travailleurs ont besoin de leurs deux mains. Il a été jugé sécuritaire d'effectuer l'opération à 8 ou 10 m/min (selon la machine) en avance continue sans avoir à utiliser de bouton de validation. Un niveau de risque un peu plus élevé, avec une vitesse de 100 ou 150 m/min a été jugé tolérable pour les opérations de nettoyage d'un rouleau de grand diamètre. C'est le compromis qui a été trouvé pour concilier la sécurité des travailleurs et les considérations économiques (la durée de l'opération).

Par ailleurs, toujours dans la même usine, il est intéressant de noter qu'une analyse de risque a permis d'identifier une zone dangereuse dont le niveau de risque était plus élevé en raison de l'absence de protecteur d'angle rentrant et de la présence d'une zone de coincement due à un rouleau presseur. Les portes d'accès à cette zone sont donc en permanence verrouillées (même dans le mode « enfilage », lors duquel toutes les portes sont normalement débloquentées). L'accès n'y est permis qu'à des vitesses inférieures à 8 m/min (133 mm/s) avec le bouton de validation, et à condition d'avoir désactivé le circuit d'air comprimé du rouleau presseur.

4.2.3.2 Les commandes nécessitant une action continue

Les commandes par action continue, ou maintenue, sont toujours utilisées en mode manuel. Ce mode, par opposition au mode automatique ou semi-automatique, signifie que chaque mouvement de la machine est volontairement initié par un intervenant en utilisant ses mains ou ses pieds. Le choix de la commande manuelle ou de la pédale revient généralement au concepteur et est fonction des besoins du travailleur pour l'opération.

Par exemple, lors du changement de plaque sur une presse à imprimer, illustré à la figure 5, les travailleurs utilisent une pédale, car ils doivent maintenir la plaque avec leurs deux mains.

Pour effectuer la même opération sur la presse à imprimer, deux intervenants sont nécessaires. La commande peut être manuelle, car il n'est pas indispensable de maintenir la plaque à quatre mains. On remarquera que, sans que l'on puisse expliquer cette différence, dans le premier cas, le fabricant a opté pour une vitesse d'environ 2 m/min (33 mm/s), et dans le second cas, la vitesse choisie par le fabricant (différent du premier) est d'environ 5 m/min (83 mm/s). Il s'agit de vitesses tangentiels mesurées au tachymètre en périphérie des rouleaux. Ces deux situations sont sensiblement différentes, mais considérées tout autant sécuritaires l'une que l'autre.

Par ailleurs, la manivelle utilisée sur la télécommande du centre d'usinage horizontal (figure 6) est équivalente à une commande par action maintenue. Les incréments sont trop petits pour que ce soit une avance par à-coups, le résultat étant que le mouvement est effectif tant que l'opérateur tourne la manivelle. Les télécommandes autres que celles des robots n'étaient pas pourvues de dispositif de validation.



Figure 5 – Utilisation d'une pédale pour le changement de plaque.



Figure 6 – Télécommande avec une manivelle.

4.2.3.3 Priorité de la commande

De plus, un autre point important par rapport au mode de commande utilisé pour les vitesses réduites, concerne la priorité de la commande. Cela signifie que dès qu'une commande particulière est sélectionnée, par exemple une télécommande, toutes les autres commandes doivent être désactivées ou n'avoir aucun effet sur la zone dangereuse concernée. C'était le cas pour chacune des commandes par action maintenue observées (télécommande et panneau de commande local). Cependant, cette notion de priorité évoquée dans l'article 186 sous-entend que le mode de sélection de la commande soit contrôlable et contrôlé par l'opérateur. C'est-à-dire que l'opérateur doit s'assurer que personne ne puisse changer de commande ou de mode de fonctionnement à son insu. Les robots observés étaient munis d'un sélecteur à clé permettant de choisir entre le mode automatique et le mode « 250 mm/s – T1 » (figure 7). L'opérateur est alors

censé conserver la clé pour que lui seul puisse repasser en mode automatique lorsqu'il a terminé son intervention. Pourtant, cela n'a été le cas dans aucune des situations observées, même si la possibilité existait. C'est à l'employeur de mettre en place les procédures sécuritaires et de les faire respecter.

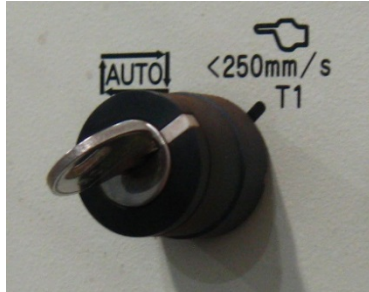


Figure 7 – Sélecteur à clé d'un robot.

Les systèmes de transfert de clé sont, quant à eux, utilisés dans des situations semblables à celles qui requièrent un dispositif de verrouillage, mais ils permettent à l'intervenant de s'assurer qu'aucune autre personne ne pourra fermer le protecteur et changer le mode de fonctionnement de la machine à son insu. Toutefois, tout comme pour les sélecteurs à clé des robots, c'est à l'opérateur à veiller à conserver la clé avec lui (ou dans une boîte cadenassée s'il y a plusieurs intervenants).

Dans un autre cas observé, la télécommande est activée simplement en appuyant sur un bouton (bouton « manche » de la figure 8). Il n'y a pas de verrouillage possible donc n'importe qui peut sélectionner une autre commande. Même si le câble de la télécommande est tiré lorsque quelqu'un utilise celle-ci, c'est insuffisant pour assurer que personne n'active une autre commande. Un travailleur distrait pourrait, par exemple, ne pas le remarquer.



Figure 8 – Bouton de sélection de la télécommande (« manche »).

Sur la presse à imprimer munie de cassettes, lorsque celles-ci sont sorties, les rouleaux sont physiquement désolidarisés du reste de la presse et la rotation est donc uniquement commandée localement avec la pédale. Le mouvement d'entrée et de sortie de la cassette peut toutefois être initié depuis le panneau de commande principal. Sur ce point, la maîtrise des mouvements repose sur l'organisation du travail et le respect des procédures.

4.2.4 Les moyens complémentaires de réduction du risque

Les protecteurs mobiles munis d'un dispositif de protection ou d'un système de transfert de clé ont, en particulier, pour rôle d'empêcher toute mise en marche lorsqu'ils sont ouverts. Ils

constituent alors un obstacle aux tâches nécessitant le fonctionnement des éléments dangereux. Les concepteurs au sens large (y compris les intégrateurs et les entreprises utilisatrices aptes à modifier leurs équipements) doivent donc anticiper ces situations en tenant compte de ces tâches particulières. Il s'agit alors de prévoir la neutralisation des protecteurs et des dispositifs de protection tout en assurant un certain niveau de sécurité. Cela se fait en prévoyant d'abord un mode de fonctionnement particulier, sélectionnable dans des conditions définies, et verrouillable. Ensuite, des mesures de protection complémentaires permettent d'augmenter le niveau de sécurité.

Le tableau 13 recense les moyens complémentaires de réduction du risque, identifiés lors des visites. Ces moyens sont souvent utilisés simultanément en fonction du phénomène dangereux et des besoins de la tâche. La liste n'est pas exhaustive considérant que seules les tâches observées pendant les visites (une à deux par machine) ont été retenues. En outre, d'autres mesures complémentaires peuvent être utilisées sur la même machine pour des tâches dont les besoins sont différents.

Tableau 13 – Moyens complémentaires de réduction du risque identifiés lors des visites.

CATÉGORIE	MOYEN DE RÉDUCTION DU RISQUE COMPLÉMENTAIRE	NOMBRE / N ^{BRE} DE VISITES
Réduction d'énergie	Vitesse réduite	15 / 15
Protecteur	Protecteur fixe (d'angle rentrant ou de couteaux)	5 / 15
	Protecteur mobile (d'angle rentrant)	1 / 15
Commande	Commande par action maintenue	5 / 15
	Dispositif de validation	7 / 15
Dispositif d'arrêt d'urgence à proximité	Bouton de type champignon	13 / 15
	Câble	1 / 15

Pour reprendre l'exemple de la presse à imprimer avec les cassettes amovibles, quand une cassette est sortie, seul l'opérateur peut commander la rotation des rouleaux, grâce à une pédale (commande par action maintenue). La cassette est désolidarisée du reste de la machine. En outre, l'opérateur dispose d'un grand espace de dégagement et peut jouir d'une position de travail relativement neutre (d'un point de vue ergonomique) par rapport à la même opération effectuée sur les rouleaux dans l'unité. Il y a également en permanence des protecteurs fixes d'angle rentrant en position (figure 9).



Figure 9 – Protecteur fixe d’angle rentrant.

Pour contrôler le mouvement de translation pour l’entrée et la sortie de la cassette, l’opérateur dispose d’une commande à action maintenue sur un panneau de commande local, mais les mêmes mouvements peuvent être commandés depuis le panneau de commande principal. Les cassettes sont toutefois parfaitement visibles depuis ce dernier et la vitesse est réduite (≈ 3 m/min soit 50 mm/s). En résumé, dans cet exemple, l’opérateur a l’usage de trois moyens complémentaires de réduction du risque : une vitesse réduite, des protecteurs fixes d’angle rentrant et une commande par action maintenue (pédale).

Bien que déjà abordés précédemment comme une étant une exigence découlant de l’article 186, les commandes par action maintenue et les dispositifs de commande sont aussi considérés comme des moyens de réduction du risque. C’est la raison pour laquelle ils sont listés dans les moyens complémentaires de réduction du risque. Par exemple, la norme ISO 1010-2 :2010 [10] préconise une vitesse de 0,5 m/min (8 mm/s) pour une marche automatique, à condition il n’y ait pas de risque d’écrasement du tronc ou de la tête. Mais si ce risque est présent, il y est recommandé d’utiliser une commande par action maintenue, entre autres, comme moyen de réduction du risque supplémentaire.

Lorsqu’il était possible d’effectuer des tâches en vitesse de production (donc en avance continue), les moyens de protection complémentaires utilisés consistaient effectivement en un dispositif de validation combiné à la présence d’un arrêt d’urgence à proximité. Toutefois, dans deux cas, les intervenants n’avaient pas accès à un dispositif d’arrêt d’urgence malgré l’avance continue de la machine. La machine fonctionnait à vitesse lente et, depuis le poste de commande, l’opérateur avait une vue partielle (les zones les plus éloignées étaient moins visibles) sur les zones dangereuses où se trouvait son collègue. Les protecteurs fixes d’angle rentrant et de couteaux suppriment ou réduisent considérablement le risque tant qu’ils sont en place.

4.2.5 Possibilité de réglage et choix de la vitesse

Bien que l’article 186 ne stipule rien à ce sujet, la possibilité de réglage, ou non, de la vitesse est un facteur important à considérer. L’employeur doit tout d’abord être en mesure de préserver les conditions de sécurité qu’il offre à ses employés de telle sorte que personne ne puisse, entre autres, augmenter la valeur de la vitesse au-delà des limites sécuritaires. Par ailleurs, à l’achat d’un équipement d’occasion par exemple, il est conseillé de tenir compte de ses caractéristiques techniques pour être en mesure d’effectuer d’éventuelles modifications. La question a été

abordée par un des intervenants rencontrés pendant une visite, qui disait qu'il n'est pas toujours possible de régler précisément une vitesse selon les caractéristiques des actionneurs. Ce point est brièvement abordé dans le guide ED6122 de l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS France) [56] comme suit : *Ce principe de protection par limitation des efforts et de l'énergie à des valeurs non dangereuses ne peut être utilisé que dans le cas où les caractéristiques de l'actionneur sont suffisantes pour assurer la fonction requise (poussée, serrage, fermeture, etc.).*

Le tableau 14 synthétise les informations recueillies sur la possibilité ou non de réglage de la limite maximale de vitesse pour les modes de fonctionnement à énergie réduite. On y voit que, dans la majorité des cas, c'est le fabricant qui a fait les choix et que ceux-ci ne peuvent pas être modifiés. On suppose que les concepteurs ont basé leur choix sur une analyse de risque ainsi que sur les recommandations normatives.

Quand la machine est modifiée par l'entreprise, le choix de la vitesse est basé sur l'expérience et semble reposer sur un compromis entre la vitesse sécuritaire la plus faible et celle assurant tout de même un temps d'intervention raisonnable. C'est ainsi que le 8 m/min (133 mm/s) du mode enfilage peut être monté à 100 m/min (1667 mm/s) pour le nettoyage d'un rouleau dont le diamètre est relativement grand.

En termes de possibilité de changement de ces valeurs limites de vitesse, on remarque que dans environ la moitié des cas observés, l'utilisateur peut les modifier lui-même. Elles n'ont cependant été changées que dans deux cas, soit dans l'usine où les machines ont été modifiées et dans celle où un nouveau mode de fonctionnement à vitesse réduite a été ajouté. Pour toutes les autres situations, le besoin de modifier les vitesses n'a pas été ressenti.

Seule une machine observée offrait la possibilité à tout le monde de changer les vitesses de façon relativement simple, mais les opérateurs n'avaient jamais touché aux réglages. Dans les autres cas, l'employeur est assuré que les opérateurs ne peuvent rien modifier grâce à l'utilisation d'un mot de passe ou parce que ceux-ci n'ont pas les connaissances pour procéder.

Tableau 14 – Situation dans les usines visitées concernant les choix des valeurs de vitesse réduite.

USINE	MODE DE FONCTIONNEMENT D'ORIGINE ?	QUI A FAIT LE CHOIX DE LA VITESSE ?	MODIFICATION DE LA VALEUR LIMITE POSSIBLE ?	QUI PEUT MODIFIER LA VALEUR LIMITE ?	RESTRICTION
A	Oui	Fabricant	Oui	Tout le monde	Aucune
B	Oui pour V1 Non pour V2	Fabricant pour V1 Recommandation du fabricant pour V2	Oui	Ingénieur système	Mot de passe
C	Oui	Fabricant	Oui	Ingénieur méthode en reprogrammant l'API JOG : les mécaniciens aussi, mais jamais changé	Mot de passe
D1	Non	Utilisateur	Oui, mais demande des connaissances approfondies	Théoriquement, tout le monde	Aucune
D2	Non	Utilisateur	Oui, mais demande des connaissances approfondies	Théoriquement, tout le monde	Aucune
D3	Non	Utilisateur	Oui, mais demande des connaissances approfondies	Théoriquement, tout le monde	Aucune
D4	Non	Utilisateur	Oui, mais demande des connaissances approfondies	Théoriquement, tout le monde	Aucune
E	Oui	Fabricant	Non	S/O	S/O
F1	Oui	Fabricant	Non	S/O	S/O
F2	Oui	Fabricant	Non	S/O	S/O
F3	Oui	Fabricant	Non	S/O	S/O
F4	Oui	Fabricant	Non	S/O	S/O
G	Oui	Fabricant	Non	S/O	S/O
H	Oui	Fabricant	Non	S/O	S/O
I	Oui	Fabricant	Non	S/O	S/O

5 DISCUSSION

5.1 Les sources d'information

Les guides et autres rapports de recherche présentent des règles générales simplifiées permettant, par exemple, de mettre en œuvre une démarche de sécurisation d'une machine avec un mode de fonctionnement à vitesse et/ou effort réduits (ex. : l'ED6122 de l'INRS [56]). Lorsque ces guides ou rapports de recherche portent sur un sujet précis tel que celui d'une machine en particulier, les explications sont généralement claires et souvent bien illustrées.

Cependant, les normes relatives aux machines constituent la première source d'information sur les valeurs de vitesse et d'effort réduits. En effet, à l'exception des trois articles scientifiques [52], [34], [50] cités à la sous-section 4.1.7, toutes les informations recensées dans la littérature non normative font directement référence à une ou plusieurs normes. Les normes dites « générales » (ex. : ISO 12100 [6], CSA Z432 [38]), qui s'appliquent à la sécurité des machines indépendamment du type de machine ou du secteur, proposent des recommandations d'ordre « conceptuel » en présentant la réduction de la vitesse et des efforts (ou des énergies dangereuses) comme un moyen de réduction du risque. Quelques valeurs limites sont proposées, mais elles sont toujours dénuées de contexte. Par exemple, d'après l'annexe A.2 de la norme CSA Z432 [38], l'évitement du dommage est jugé probable lorsque la vitesse d'un élément est inférieure à 250 mm/s, et ce, indépendamment du type de machine ou de son contexte d'utilisation. La norme comporte cette valeur seuil qui est utilisée dans une matrice de risque pour déterminer le paramètre « possibilité d'évitement ou de réduction du dommage », qui avec d'autres paramètres (ex. : gravité du dommage, probabilité d'occurrence) permet de faire une estimation du risque.

Les normes dont le sujet porte spécifiquement sur un type de machine proposent quant à elles des valeurs beaucoup plus adaptées à la réalité de l'équipement et à son utilisation. Rédigés par des experts du secteur d'activité et/ou par les fabricants de machines eux-mêmes, ces documents synthétisent un travail d'appréciation du risque mené par les membres du comité de rédaction. Les prescriptions énoncées dans ces documents sont donc généralement plus faciles à intégrer lors de la conception ou de la modification d'un équipement. Certaines normes spécifiques peuvent donc proposer des valeurs différentes selon le contexte particulier d'une portion de la machine et des interventions prévisibles qui doivent y être réalisées.

Dans le cas des robots, par exemple, et malgré les recommandations scientifiques mentionnées plus haut, les normes américaine [37], canadienne [39], et internationale [57] sont unanimes et préconisent une vitesse réduite maximale de 250 mm/s. En revanche, pour d'autres machines, telles que les presses à imprimer, plusieurs valeurs de vitesse peuvent être proposées selon la zone d'une même machine. Il est donc important de connaître la base du fonctionnement de chacun de ces équipements pour interpréter correctement ces documents rédigés à l'intention des concepteurs et fabricants de machines.

5.2 Variabilité des valeurs et facteurs d'influence

Le tableau 15 récapitule les valeurs de vitesse, effort, énergie et pression réduits prescrites dans la littérature, indépendamment du secteur industriel et du type de machine, ainsi que celles

mesurées ou observées lors des visites. Le petit nombre de documents recensés dans les cas de l'énergie et de la pression explique le peu de valeurs présentées dans ce tableau.

Tableau 15 – Récapitulatif des valeurs de vitesse, effort, énergie et pression réduits.

VITESSE (mm/s) LITTÉRATURE	8 ; 10 ; 17 ; 25 ; 30 ; 33 ; 50 ; 67 ; 80 ; 83 ; 100 ; 133 ; 140 ; 152 ; 167 ; 170 ; 200 ; 250 ; 300 ; 330 ; 1500
VITESSE (mm/s) MESURÉE /UTILISÉE EN USINES	27; 33; 38; 47; 70; 76; 83; 86; 133; 167; 250; 333; 1667; 2500; 2533
EFFORT (N)	20 ; 35 ; 50 ; 65 ; 70 ; 75 ; 100 ; 110 ; 125 ; 130 ; 135 ; 140 ; 145 ; 150 ; 160 ; 180 ; 200 ; 210 ; 220 ; 300 ; 500 ; 600
ÉNERGIE (J)	3,5 ; 4 ; 10
PRESSION (N/cm²)	10 ; 20 ; 25 ; 30 ; 35 ; 45 ; 50 ; 60 ; 70 ; 75 ; 80

Ces valeurs semblent, à première vue, incompatibles ou contradictoires, mais elles doivent être utilisées dans un contexte précis. Sorties de ce contexte, on doit y recourir avec beaucoup de précautions. Il est très important de considérer tout ce qui peut avoir une influence sur la sécurité qu'offre un niveau d'énergie donné (ex. : une vitesse donnée, un effort donné). Sans être exhaustifs, les paragraphes de la section 5.2 présentent quelques facteurs qui influencent le choix des valeurs d'énergie réduite. En effet, il faut être conscient de l'importance d'effectuer une analyse de risque approfondie pour bien cerner les conditions dans lesquelles sont réalisées les interventions. Dans le cadre d'une analyse de risque, la considération de ces facteurs permettra de prendre des décisions éclairées et de choisir des moyens de réduction du risque adaptés pour atteindre le niveau de risque souhaité.

5.2.1 Les facteurs d'influence

L'approche de réduction du risque par l'application d'une réduction des énergies ou des vitesses est souvent accompagnée de considérations complémentaires. Le guide ED807 de l'INRS [43] en présente plusieurs qui sont citées au tableau 16.

Tableau 16 – Facteurs à prendre en compte pour la protection par limitation de l'énergie.

FACTEUR À PRENDRE EN COMPTE SELON L'INRS	VARIABLE CONCERNÉE	EXEMPLE DE PARAMÈTRES À CONSIDÉRER
1) Accessibilité de la zone dangereuse Dimensions anthropométriques	Vitesse Effort Pression Énergie cinétique	Hauteur de la zone dangereuse Espace de dégagement Sol accidenté, glissant
2) Pression sur les parties du corps	Effort Pression	Paramètre à utiliser pour la réduction du risque Résistance à la pression différente selon la partie du corps concernée Gravité du dommage différente selon la partie du corps concernée
3) Forme et dimension des surfaces de contact	Vitesse Effort Pression Énergie cinétique	Surface coupante, plane, rugueuse, etc. Angle rentrant, zone de coincement, zone de cisaillement, etc.
4) Énergie cinétique	Vitesse Énergie cinétique	Vitesse, paramètre à utiliser pour la réduction du risque Temps d'arrêt de la machine Force d'impact
5) Temps de réponse des mécanismes	Vitesse Énergie cinétique	Temps et distance d'arrêt de la machine

1) La qualité du sol et l'espace de dégagement sont deux éléments importants à considérer qui concourront à augmenter la possibilité d'évitement : si l'espace n'est pas propice à une certaine liberté de mouvement, alors le ou les travailleurs auront moins de chance d'éviter un accident à la suite d'un démarrage ou d'un mouvement intempestifs. Dans le guide ND 2138 de l'INRS [27] sur les centres d'usinage à grande vitesse, les auteurs expliquent notamment que pour les machines de petites dimensions, la vitesse des mouvements d'avance devrait être limitée à 2 m/min (en mode manuel, protecteurs ouverts et avec une commande à action maintenue) alors que pour les machines de grandes dimensions (espace de travail supérieur à 2 m³) la vitesse devrait être limitée à 4 m/min étant donnés les distances à parcourir et le volume de dégagement qui sont supérieurs. La présence ou non de protecteurs entre en compte dans l'accessibilité de la zone dangereuse. Par exemple, cette approche a été observée pour une presse à imprimer de l'usine D3 où la vitesse est réduite à 2500 mm/s pour le nettoyage de rouleaux dont l'accès est empêché par des protecteurs. La présence d'un rouleau presseur et d'angles rentrants non protégés ailleurs sur la même machine a mené à la décision de limiter d'avantage la vitesse dans cette zone (à 133 mm/s).

2 et 3) La forme des surfaces de contact a également un impact important. La pression (P) de contact est définie par la formule $P = \frac{F}{S}$. Pour une force donnée (F), plus la surface de contact (S) est petite, plus la pression résultante sera élevée. Par exemple, plusieurs normes évoquant la fermeture motorisée de protecteurs mobiles (comme la norme ANSI B65.1-2011 [32]) recommandent ce qui suit :

- Si la surface est plane, alors la force ne doit pas dépasser 150 N ;
- Si la surface est anguleuse (« edge »), mais non coupante, alors la force ne doit pas dépasser 50 N.

Ainsi, quelle que soit la partie du corps se trouvant dans la trajectoire du protecteur, la force appliquée par ce dernier pendant sa fermeture ne doit pas dépasser 50 N ou 150 N selon la forme de la surface de contact.

La revue de la littérature a montré que la force et la pression surfaciques sont utilisées pour réduire les risques liés aux phénomènes dangereux des types de zone suivants :

- Les zones de coincement / pincement / écrasement ;
- Les zones de cisaillement ;
- Les angles rentrants.

Les données issues du tableau 7, produit par l'IFA, ainsi que les dimensions anthropométriques ont donc une influence sur le choix des valeurs d'effort réduit.

4 et 5) La règle générale voulant que *la vitesse lente retenue doit permettre l'arrêt des éléments mobiles dans un temps suffisamment bref, après le relâchement de l'organe de service, pour ne pas mettre en danger l'opérateur* [56] illustre bien l'importance que l'on doit accorder aux vitesses de rotation et de déplacement des éléments dangereux. Le temps d'arrêt d'une machine ou de ses mécanismes diminuera si la vitesse d'avance ou de rotation est plus faible. Sachant que, pour ce type d'intervention, le ou les intervenants sont beaucoup plus proches des phénomènes dangereux que lors d'un fonctionnement normal des machines, la vitesse et le temps d'arrêt en sont d'autant plus importants. Par ailleurs, la grande variabilité des valeurs observées au tableau 15 tend à démontrer qu'il n'existe pas de vitesse réduite standard que l'on pourrait considérer comme sécuritaire, quelle que soit la situation. Comme c'est le cas avec les autres valeurs proposées dans la littérature, la valeur de la vitesse réduite doit être choisie en fonction de la situation et donc des différents paramètres répertoriés au tableau 16.

4 et 5) L'énergie cinétique est un autre paramètre important à considérer pour la sécurité des interventions en mode vitesse et/ou effort réduits. Un faible niveau d'énergie cinétique est utilisé soit pour augmenter la possibilité d'évitement d'un accident (exemple : diminution du temps d'arrêt de la machine après avoir été entraîné dans un angle rentrant), soit pour limiter un dommage (ex. : diminution de l'énergie cinétique en cas de contact direct avec l'élément dangereux).

5.2.2 Impact des facteurs d'influence

Malgré l'hétérogénéité des valeurs, que ce soit dans un même domaine ou en comparant les données de tous les domaines, l'analyse des résultats permet de déduire quelques principes généraux sur les variations de recommandations liées aux facteurs d'influence (tableau 17).

Tableau 17 – Variation des recommandations en fonction des facteurs d'influence.

FACTEUR D'INFLUENCE sur la valeur des énergies réduites	État du facteur permettant des valeurs plus élevées d'énergie réduite	État du facteur nécessitant des valeurs plus faibles d'énergie réduite
Surface de contact, géométrie de la pièce en mouvement	Surface plane	Surface anguleuse
Type de commande	Commande par action maintenue, bimanuelle	Commande par impulsion (mouvement automatique)
Protecteurs à l'intérieur de la zone dangereuse (ex. : protecteur d'angle rentrant)	Présence	Absence
Signal sonore / lumineux au démarrage	Présence	Absence
Accessibilité de la zone dangereuse	Zone dangereuse éloignée, difficilement accessible (hors d'atteinte)	Zone dangereuse proche et facilement accessible
Débattement de sécurité en cas de contact	Présence	Absence
Position relative des éléments mobiles / fixes	Éloignés les uns des autres	Proches les uns des autres
Inversion automatique du mouvement	Oui	Non
Position du dispositif d'arrêt d'urgence	À proximité de la zone dangereuse	Hors d'atteinte depuis la zone dangereuse

Le tableau 18 recense les quelques exemples de cas où l'impact des facteurs d'influence est clairement quantifiable à partir des sources.

Tableau 18 – Séries de valeur en fonction de l'état du facteur d'influence.

FACTEUR D'INFLUENCE	SÉRIE DE VALEUR 1	SÉRIE DE VALEUR 2	SOURCE
Surface de contact	Plane 150 N	Étroite, anguleuse 50 N	[32], [10]
Inversion automatique du mouvement	Avec 150 N	Sans 75 N	[56], [42]
Type de commande	A action maintenue 83 mm/s	Mouvement automatique 8,3 mm/s	[12]

L'inconvénient de ces facteurs d'influence provient du fait qu'il n'est pas toujours aisé de connaître la limite qui déterminera dans quelle série de valeurs le lecteur doit tirer l'information. Le problème ne se pose pas pour savoir s'il y a une commande à action maintenue ou pas, ou encore pour l'inversion automatique du mouvement. En revanche, à partir de quelle dimension une surface est considérée comme étant trop étroite ? Quel doit être l'espacement entre les éléments mobiles et les parties fixes d'une machine pour qu'ils soient considérés suffisamment éloignés ? Les réponses à ces questions ne sont malheureusement pas précisées dans les documents de référence et sont laissées à l'interprétation du lecteur.

5.3 Recommandations

5.3.1 Démarche d'application de l'article 186 du RSST

L'application de l'article 186 du RSST s'inscrit dans le cadre d'une démarche d'appréciation et de réduction du risque pendant laquelle le concepteur doit être en mesure de démontrer que :

- Les intervenants n'ont pas d'autre choix que de pénétrer dans la zone dangereuse pour la réalisation de la tâche, et,
- Que la réalisation de la tâche rend nécessaire le fonctionnement des éléments dangereux de la machine.

Par définition, les moyens de protection tels que les protecteurs mobiles munis d'un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage ou les dispositifs de protection (ex. : barrage immatériel), qui stoppent les mouvements à leur activation et empêchent tout redémarrage, sont alors inadaptés. Il est alors recommandé d'appliquer ce que certains auteurs appellent des *mesures de prévention compensatoires* [56] qui permettront le mouvement des éléments dangereux à la suite de la neutralisation des protecteurs et des dispositifs de protection tout en assurant un niveau de risque tolérable pour les travailleurs. C'est précisément l'objectif de l'article 186 : atteindre un niveau de risque comparable à celui visé par l'article 182 du RSST pour les interventions dans la zone dangereuse pendant le fonctionnement des éléments dangereux.

Ces mesures de prévention compensatoires devraient permettre une réduction des facteurs souvent utilisés pour décrire le risque que sont la gravité du dommage, l'exposition au

phénomène dangereux et la possibilité d'évitement. Pour réduire ces facteurs on misera donc généralement sur :

- la réduction du dommage,
- l'augmentation de la possibilité d'éviter le dommage (possibilité d'évitement) et
- la réduction de l'exposition au phénomène dangereux.

Ces principes peuvent être utilisés seuls ou conjointement.

5.3.1.1 La réduction du dommage

Le dommage, ou la conséquence résultant d'un phénomène dangereux, peut être réduit en abaissant le niveau d'énergie du phénomène considéré comme étant dangereux. Par exemple, la limitation des efforts appliqués sur les éléments mobiles dans une zone de coincement permettra de réduire le dommage subi par un travailleur. C'est le principe des portes d'ascenseur. On peut, par exemple, réduire l'énergie cinétique d'un objet en mouvement en diminuant sa vitesse. Le choc sera éventuellement moins violent. Des couches de matériau amortissant placées sur les surfaces susceptibles de heurter une personne réduiront également le dommage en dissipant l'énergie. Les équipements de protection individuelle (EPI) pourraient être mis à contribution pour la réduction du dommage. Par exemple, certaines entreprises exigent le port de casque dans les enceintes de robots. Les solutions reposant sur le port des équipements de protection individuelle devront cependant être incluses dans le cadre d'une procédure, conformément à l'article 186.

5.3.1.2 L'augmentation de la possibilité d'évitement d'un dommage

Lorsqu'un événement dangereux se produit, le temps de réaction d'un travailleur est un des facteurs lui permettant de limiter ou d'éviter le dommage potentiel. Les moyens qui peuvent être mis à contribution pour augmenter cette possibilité d'évitement peuvent donc être utilisés pour réduire le risque total. À titre d'exemple, la réduction de la vitesse de rotation ou de déplacement d'éléments dangereux vise à permettre au travailleur de réagir lors d'un coincement. La réduction des forces exercées peut également contribuer à augmenter la possibilité d'évitement dans certains cas. À ce sujet, l'INRS recommande notamment de choisir une vitesse réduite *de sorte qu'en fonction de la situation de travail, l'opérateur ait la possibilité d'arrêter le mouvement dangereux suffisamment rapidement pour éviter l'accident* [56]. La prescription de l'article 186 d'utiliser un mode de commande manuel (par opposition à un mode automatique ou semi-automatique) vise justement à ce que le travailleur reste continuellement en maîtrise des mouvements qui sont générés et ainsi lui permettre de réagir en stoppant les mouvements et ultimement, d'éviter ainsi le dommage. La norme ISO 12100 est d'ailleurs plus précise à ce propos en recommandant l'utilisation d'un sélecteur de mode verrouillable dans chaque position (un mot de passe sur écran peut éventuellement être utilisé en lieu et place d'une clé) [6]. L'intervenant est alors assuré que personne ne changera de mode et, par conséquent, les conditions d'intervention.

Par ailleurs, et toujours dans le même objectif, l'article 186 stipule que les éléments dangereux ne doivent pouvoir être mis en fonctionnement qu'à l'aide d'une commande à action maintenue. Cette commande fait en sorte que l'opérateur qui détecte un événement potentiellement dangereux puisse arrêter le mouvement suffisamment rapidement en relâchant la commande (ou

en crispant les mains sur la commande dans le cas des commandes à trois positions). Cela augmente considérablement la possibilité d'évitement d'un dommage par rapport à une avance continue qui implique de devoir atteindre un arrêt d'urgence pour provoquer l'arrêt. Les dispositifs de validation de type poignées ou pédales sont considérés comme des dispositifs de commande à action maintenue selon la norme ISO 12100 et peuvent donc eux aussi être utilisés à cette fin.

D'autres moyens permettant d'augmenter la possibilité d'évitement peuvent être mis à contribution. Des dispositifs d'avertissement peuvent prévenir le travailleur d'un démarrage imminent de la machine. Un meilleur éclairage de la zone de travail et la réduction du bruit ambiant permettront au travailleur de mieux détecter le développement de conditions inhabituelles ou dangereuses. Enfin, l'expérience du travailleur et sa perception des risques pourraient également contribuer à lui permettre de réagir plus rapidement à la suite de l'apparition d'un événement dangereux.

5.3.1.3 Réduction de l'exposition au phénomène dangereux

La réduction de l'exposition du travailleur aux phénomènes dangereux est une autre façon de réduire le risque. Le recours à une commande bimanuelle, comme prescrit par l'article 186, vise précisément à éloigner le travailleur de la zone dangereuse et donc à réduire son exposition au phénomène dangereux. C'est le principe du maintien à distance de l'intervenant qui est surtout applicable pour la réalisation des tâches d'observation du processus : par exemple, pour la détection de dysfonctionnement ou la vérification du fonctionnement à la suite de réparations ou de travaux de maintenance.

Dans le même esprit, l'article de la norme ISO 12100 décrivant les exigences reprises par l'article 186 recommande justement de restreindre autant que possible l'accès à la zone dangereuse pendant les interventions [6]. Suivant cette recommandation, les commandes qui initient les mouvements dangereux devraient donc être installées le plus loin possible de la zone dangereuse. Des solutions pour les cas où les observations sont nécessaires sont proposées dans le guide ED6129 de l'INRS [58]. À travers quatre exemples, quatre modes de fonctionnement pour observation du processus y sont décrits. Ils sont brièvement repris au tableau 19.

Tableau 19 – Modes d'observation décrits dans le document ED 6129 de l'INRS [58].

	PRINCIPE DE SÉCURISATION
La trappe d'observation	Trappe munie d'un dispositif de protection qui est désactivé une fois le mode observation sélectionné. Permet l'observation depuis l'extérieur de l'enceinte de protection.
Le refuge	L'intervenant pénètre dans l'enceinte de protection pendant l'arrêt de la machine et se réfugie dans une zone sûre d'où il pourra mettre en fonctionnement les éléments dangereux. La zone d'observation et le type de protection sont choisis selon le phénomène dangereux et l'observation à effectuer.
La protection par zones	Ici, ce sont les zones dangereuses à l'intérieur de l'enceinte qui sont munies de dispositifs de protection activés à la sélection du mode observation.
L'arrêt d'urgence « mobile » et dispositif de validation	Cas où il n'est pas possible d'arrêter le processus pour passer en mode observation. L'intervenant utilise un dispositif de validation ou un arrêt d'urgence. Cette solution seule est à éviter autant que possible. Elle peut toutefois être combinée avec d'autres mesures.

5.3.2 « Conditions de sécurité accrue » et valeurs prescrites

Le troisième alinéa de l'article 186 prescrit de ne permettre le fonctionnement des éléments dangereux que dans des conditions de « sécurité accrue ». Bien que les moyens proposés au paragraphe 5.3.1 semblent pertinents et utiles à une réduction du risque, la question du choix et de la détermination de ces fameuses conditions de sécurité accrue reste entière. Comment savoir si le risque a été abaissé à un niveau jugé tolérable ? Selon quels critères ? Comme présenté plus haut, il ne semble malheureusement pas y avoir de valeur reconnue d'énergie réduite ou de règle absolue permettant de déterminer avec certitude ces mêmes valeurs d'énergie (effort, vitesse, pression, etc.) sécuritaire.

De façon générale, lorsqu'une norme prescrit des valeurs à respecter dans un contexte précis, les concepteurs peuvent utiliser ces mêmes valeurs moyennant que la situation sur laquelle ils sont appelés à réfléchir reflète la réalité décrite dans la norme. Basée sur l'expérience des rédacteurs de ces documents, cette approche devrait pouvoir mener à une réduction du risque selon l'esprit des prescriptions de l'article 186.

Cependant, lorsqu'aucune norme n'est disponible comme référence pour un type d'équipement donné ou que la norme ne décrit pas une situation identique à celle pour laquelle le concepteur doit déterminer un niveau d'énergie tolérable, la détermination de ce niveau devra reposer sur une réflexion beaucoup plus poussée. Bien qu'il soit possible d'extrapoler les prescriptions normatives à des situations semblables, mais pas identiques, le concepteur devra justifier son choix par une comparaison rigoureuse du contexte entourant la proposition normative.

5.3.2.1 Valeurs génériques de vitesse réduite

Le résultat du recensement de cette étude montre que les vitesses réduites proposées vont de 8 mm/s à 1 500 mm/s selon le contexte. La vitesse de déplacement de 250 mm/s d'un élément mobile est un seuil au-delà duquel plusieurs normes considèrent qu'il devient difficile d'éviter ou de limiter un dommage. Cette valeur est également la vitesse recommandée dans la plupart des normes robotiques. Bien qu'elle semble applicable dans plusieurs situations, on doit comprendre que c'est le contexte qui déterminera s'il est pertinent d'en faire usage. À titre d'illustration, l'INRS donne un exemple de vitesse lente dans le cas des robots de soudure [56] :

Pour vérifier une trajectoire pour la commande en mode apprentissage d'un robot de soudure par points, une vitesse lente maximale de 250 mm/s est généralement jugée acceptable si l'opérateur est éloigné de plus de 2 m de la zone, alors qu'elle n'excédera pas quelques mm/s si l'opérateur est à proximité immédiate.

Afin d'augmenter la possibilité d'évitement, on comprend donc que cette vitesse variera grandement selon la distance à laquelle le travailleur se trouvera de l'élément mobile. L'exemple des presses plieuses hydrauliques pour lesquelles la vitesse de déplacement lente de 10 mm/s est généralement recommandée est également éloquent. Du fait de la faible distance entre les matrices et des risques élevés d'écrasement, la valeur de la vitesse de déplacement est considérablement réduite dans ce cas. L'exemple des robots et celui des presses plieuses hydrauliques sont souvent repris dans les guides et même dans les normes. Ils peuvent donc constituer des points de repère intéressants. Le tableau 20 présente quelques paramètres de base pouvant les décrire (cas général) :

Tableau 20 – Caractéristiques générales décrivant la majorité des cas des robots et des presses plieuses hydrauliques.

ROBOT	PRESSE PLIEUSE HYDRAULIQUE
Corps de l'opérateur relativement proche, espace de dégagement possible	Mains de l'opérateur dans la zone d'écrasement, proches des matrices
Risque de choc	Risque d'écrasement, de sectionnement, d'amputation
Commande à action maintenue et dispositif de validation	Commande à action maintenue (pédale)

Par ailleurs, il est intéressant de noter que sur l'ensemble des cas recensés dans la littérature, seuls 10 % prescrivent des vitesses supérieures à 250 mm/s. Il s'agit de quelques cas particuliers dans les secteurs de l'imprimerie, des pâtes et papiers, des mines (boulonneuse de toit) [41] et des portes des ascenseurs [46].

5.3.2.2 Valeurs génériques d'efforts réduits, d'énergie cinétique réduite et de pression de contact réduite

À l'image des valeurs de vitesse réduite, les valeurs d'efforts (forces) réduits proposées dans les documents recensés sont elles aussi assez variées. Dans les cas où des valeurs génériques doivent être utilisées parce qu'aucune norme ne semble présenter de situations comparables à celle pour

laquelle le concepteur tente de déterminer une valeur sécuritaire, les valeurs issues originalement du guide de l'Association internationale de la sécurité sociale (AISS) [41] semblent utilisables. Ces valeurs sont reprises dans le guide de l'INRS [56] ainsi que dans quelques normes recensées dont la norme ISO 14120 portant sur les protecteurs mobiles [45] et la norme EN 415-7 :2006 sur la sécurité des machines de groupe et d'emballage secondaire [59].

Deux séries de valeurs sont présentées (tableau 21) : (1) l'une dans le cas où il n'y a pas d'inversion du mouvement, et l'autre (2) où il y a un dispositif permettant l'inversion du mouvement en cas de contact ou de détection dans un délai de moins d'une seconde [59]. C'est ainsi qu'une valeur d'effort maximale de 75 N s'exerçant sur toute partie du corps sera considérée comme étant tolérable dans le cas où il n'y a pas d'inversement du mouvement et qu'une force de 150 N sera considérée comme étant tolérable s'il y a un inversement automatique du mouvement après contact. De la même manière, l'énergie cinétique maximale considérée comme étant tolérable sera de quatre joules dans le cas où il n'y a pas d'inversement du mouvement et de 10 joules s'il y a un inversement automatique du mouvement après contact. Au moins un document [59] propose des valeurs distinctes de pression de contact maximale jugées tolérables dans les deux cas : 25 N/cm² sans inversement des mouvements et 50 N/cm² avec inversement des mouvements.

Ces valeurs sont valables moyennant notamment que les pièces ne présentent aucune arête acérée susceptible de causer des blessures de type coupure ou piqûre. À titre d'exemple, des normes s'accordent pour proposer la valeur de 150 N, dans le cas des protecteurs motorisés, sans préciser s'il y a inversion du mouvement, mais à condition que la surface soit plane [10], [32]. Si elle est trop étroite, ou anguleuse, il est recommandé d'avoir un effort maximal de fermeture de 50 N selon ces mêmes normes.

Tableau 21 – Tableau récapitulatif des valeurs d'effort, d'énergie cinétique, de pression.

	SANS INVERSEMENT AUTOMATIQUE DU MOUVEMENT	AVEC INVERSEMENT AUTOMATIQUE DU MOUVEMENT
Effort maximal s'exerçant sur les parties du corps	75 N	150 N
Énergie cinétique maximale de la partie mobile	4 J	10 J
Pression de contact maximale	25 N/cm ²	50 N/cm ²

Le tableau 5 et le tableau 6 des sous-sections 4.1.4 et 4.1.5 respectivement montrent que peu de documents font référence à l'énergie cinétique ou à la pression surfacique pour les interventions à énergie réduite. Pourtant, l'utilisation de ces deux grandeurs permettrait d'obtenir des recommandations plus universelles. À titre d'exemple, si la pression surfacique maximale admissible par les différentes parties du corps humain, compte tenu de la forme et de la masse des éléments mobiles considérés sur la machine était connue, la vitesse ou l'effort réduit assurant un niveau de sécurité acceptable pourrait en être déduit par simple calcul. Il suffirait alors de déterminer cette valeur en fonction de la partie du corps exposée selon l'application, en se basant, par exemple, sur le tableau de l'IFA (voir tableau 7, sous-section 4.1.7.2) [52]. Ces valeurs restent expérimentales et, malheureusement, cette approche demeurera théorique tant que

ces valeurs de pression admissible sur les parties du corps ne seront pas connues de façon plus définitive.

5.3.2.3 Difficultés de détermination des niveaux

Il est parfois difficile de déterminer avec assurance si les niveaux d'énergie proposés dans la littérature seront adaptés à une situation donnée et offriront une sécurité suffisante. Comme mentionné plus haut, la réduction de la vitesse (mm/s) est un moyen visant à permettre une augmentation de la possibilité d'évitement du dommage. Cette approche reste cependant subjective puisque le temps de réaction variera nécessairement d'un travailleur à l'autre. Dans le même ordre d'idées, la réduction des efforts (N) est utilisée afin de réduire le dommage et/ou d'augmenter la possibilité d'évitement. La réduction du dommage ne repose cependant pas uniquement sur la seule force exercée par un élément mobile. Il est notamment important de connaître la forme de la pièce, son type de surface, etc., afin de déterminer le risque auquel est exposé le travailleur et ainsi réduire la part de subjectivité. À titre d'exemple, une aiguille sur laquelle est exercée une force de 75 N transpercera assurément la peau. Ces deux méthodes doivent donc être utilisées de façon prudente puisqu'une réduction du risque à un niveau « tolérable » ne s'appuiera dans ces cas que sur les recommandations issues des normes dans un contexte précis.

À l'opposé, les valeurs de pressions et de température proposées sont beaucoup plus faciles à utiliser puisqu'elles se prêtent à des contextes différents. Suivant les recommandations des normes, une valeur de pression exprimée en N/cm^2 ou de température exprimée en degré Celsius peut être utilisée indépendamment du contexte. La part de subjectivité est donc beaucoup moins grande dans ces cas et l'assurance qu'offrent les valeurs devrait être plus grande. Il est donc préférable d'être prudent avec l'application des valeurs issues des normes de type « C » écrites spécifiquement pour certains types de machine lorsque ces valeurs dépassent les limites proposées dans les documents plus génériques tels que la norme ISO 12100 en s'assurant que le contexte se prête à cette application.

6 CONCLUSION

L'étude dont fait l'objet le présent rapport porte sur l'article 186 du RSST et son application. Cet article prescrit un mode de fonctionnement particulier et vise à permettre la réalisation de tâches dans la zone dangereuse d'une machine, mais en respectant certaines conditions. Le premier objectif de cette étude était de faire un bilan des connaissances sur les modes de fonctionnement à *énergie réduite* et sur les recommandations des règles de l'art dans ce domaine. Le second objectif visait à comprendre la mise en œuvre de l'article 186 du RSST en observant les interventions mentionnées dans cet article sur différentes machines en usine.

L'étude a permis de recenser des valeurs d'énergie réduite proposées dans la littérature. Les valeurs de vitesse (mm/s), effort ou force (N), énergie cinétique (J), pression de contact (N/cm²) et température (°C) qui sont mentionnées dans la littérature sont présentées avec leurs références. Des mesures de vitesse ont également été effectuées en entreprise. Les valeurs des vitesses réduites dépendent de la possibilité d'évitement du dommage. Les valeurs d'effort, d'énergie et de pression réduits dépendent principalement de la partie du corps qui est concernée et de l'inversion du mouvement. Cependant, les contraintes de production et les besoins des tâches doivent être pris en compte tout en assurant une possibilité d'évitement optimale.

L'étude a aussi permis de mieux comprendre la mise en œuvre de l'article 186. Les machines ne sont pas toujours conçues en intégrant les exigences de cet article et peuvent nécessiter des modifications en entreprise. Le travailleur qui intervient dans la zone dangereuse n'utilise pas toujours une commande à action maintenue ou une avance par à-coups. Bien que la majorité des vitesses observées en usine soient égales ou inférieures aux recommandations normatives, ce n'est pas toujours le cas, notamment pour certaines interventions qui se font en vitesse de production.

Avant de considérer l'utilisation de l'article 186, il faut s'assurer que les tâches nécessitent absolument, sans aucune autre alternative, le fonctionnement des éléments dangereux et la présence d'un travailleur dans la zone dangereuse. Si la littérature prescrit des valeurs d'énergie réduite à respecter dans un contexte comparable à la situation étudiée, ces valeurs peuvent être utilisées en s'assurant rigoureusement que les contextes sont effectivement semblables. En l'absence de règle générale, le choix des valeurs devra être basé sur une analyse de risque approfondie. Une transposition directe des recommandations issues de la littérature ne peut être réalisée sans sa mise en contexte.

Quoi qu'il en soit, le choix ou la validation d'une valeur d'énergie réduite restent difficiles à faire avec certitude pour les concepteurs. D'autres études seraient donc nécessaires pour aider les concepteurs à déterminer plus aisément les valeurs admissibles, notamment pour quantifier la possibilité d'évitement d'un dommage lorsque sa réduction n'est pas possible par conception.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST). "Rapport annuel de gestion 2011", CSST, Québec, Canada [En ligne]. Disponible : <http://www.csst.qc.ca/publications/400/Documents/DC400-2032-5.pdf>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [2] Létourneau, D. et Potvin, F., "Accident mortel survenu le 30 avril 2013 à une travailleuse de l'entreprise "Rio Tinto Alcan" 3000, rue des Pins Ouest à Alma", Commission de la santé et de la sécurité du travail, Québec, Canada, Rapport d'enquête RAP0957995, 2014. [En ligne] Disponible : <http://www.centredoc.csst.qc.ca/pdf/ed004006.pdf>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [3] EPICEA, "Numéro de dossier 17737", *INRS – Base de données EPICEA*. [En ligne]. Disponible : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/epicea.html>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [4] Publications du Québec. "Règlement sur la santé et la sécurité du travail", *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*. [En ligne]. Disponible : http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R13.HTM [Dernière consultation : 25 juin 2014].
- [5] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines : notions fondamentales, principes généraux de conception. Partie 2, principes et spécifications techniques", *AFNOR*, NF EN 292-2/A1, 1995.
- [6] Organisation internationale de normalisation (ISO). "Sécurité des machines – Principes généraux de conception – Appréciation du risque et réduction du risque", *ISO*, ISO 12100, 2010.
- [7] Le parlement européen et le conseil de l'Union Européenne, "Directive 2006/42/CE du parlement européen et du conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE (refonte)", *Journal officiel de l'Union Européenne*, 2006. [En ligne]. Disponible : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:fr:PDF>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [8] Organisation internationale de normalisation (ISO), "Sécurité des machines : appréciation du risque. Partie 2, lignes directrices pratiques et exemples de méthodes ", *ISO*, ISO/TR 14121-2, 2007.
- [9] American National Standards Institute (ANSI), "American national standard: graphic technology - safety standard - printing press systems", *ANSI*, ANSI B65.1, 2005.
- [10] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines : prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines d'impression et de transformation du papier. Partie 2, machines d'impression et de vernissage y compris les machines et les équipements de pré-press", *AFNOR*, NF EN 1010-2, 2010.

- [11] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines : prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines d'impression et de transformation du papier. Partie 4, machines à relier les livres, machines de transformation et de finitions du papier ", AFNOR, NF EN 1010-4, 2010.
- [12] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines : prescriptions de sécurité pour la conception et la construction des machines d'impression et de transformation du papier - Partie 5 : machines de fabrication du carton ondulé et machines de transformation du carton plat et du carton ondulé", AFNOR, NF EN 1010-5, 2005.
- [13] American National Standards Institute, "American national standard: graphic technology: safety requirements for binding and finishing systems and equipment", ANSI, ANSI B65.2, 2005.
- [14] Association sectorielle paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la fabrication de produits en métal, de la fabrication de produits électriques et des industries de l'habillement (ASPHME), "Grille d'autodiagnostic en santé et en sécurité du travail – Presses plieuses", ASPHME, Québec, Canada. [En ligne]. Disponible : <http://www.asphme.org/upload/pdf/GADplieuses.pdf>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [15] Canadian Standard Organisation (CSA), "Code régissant l'opération des presses : exigences concernant la santé, la sécurité et la protection", CSA, CSA Z142, 2010.
- [16] Burlet-Vienney, D., Jocelyn, S., Daigle, R., Massé, S., "Sécurisation des presses plieuses hydrauliques", Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité du travail, Québec, Canada, Guide RF-634, 2010. [En ligne]. Disponible : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/RF-634.pdf>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [17] Bello, J.-P., Cazin, B., Caillet, J.-P., Hue, G., "Travailler en sécurité sur les presses plieuses hydrauliques", Institut national de recherche et de sécurité, France, Guide ED-879, 2011. [En ligne]. Disponible : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20879>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [18] Gillot, J., Baudoin, J., Bello, J.-P., Blaise, J.-C., "Presses plieuses hydrauliques pour le travail à froid des métaux – Amélioration de la sécurité sur les machines – Spécifications techniques à l'usage des utilisateurs, des préventeurs et des rénovateurs", Institut national de recherche et de sécurité, France, Guide ED-927, 2010. [En ligne]. Disponible : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20927>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [19] Organisation internationale de normalisation (ISO), "Matériel pour l'industrie textile : exigences de sécurité. Partie 6, machines de production d'étoffes", ISO, ISO 11111-6, 2009.

- [20] Organisation internationale de normalisation (ISO), "Sécurité des machines : systèmes de fabrication intégrés : prescriptions fondamentales", *ISO*, ISO 11161, 2007.
- [21] Association française de normalisation (AFNOR), "Machines pour les matières plastiques et le caoutchouc : machines de moulage par injection: prescriptions de sécurité", *AFNOR*, NF EN 201, 2009.
- [22] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines – Prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines d'impression et de transformation du papier – Partie 1 : Prescriptions communes", *AFNOR*, NF EN 1010-1+A1, 2011.
- [23] Beauchamp, Y., Jaraiedi, M., Etherton, J., "Le contrôle en manuel des robots industriels : vitesse lente", *Comptes rendus du 20^{ème} congrès annuel de l'association canadienne d'ergonomie*, vol. 20, pp. 31-34, 1987.
- [24] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines : prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines de fabrication et de finition du papier. Partie 3, visiteuses et bobineuses", *AFNOR*, NF EN 1034-3, 2012.
- [25] American Society of Safety Engineers (ASSE), "Control of hazardous energy lockout/tagout and alternative methods", *ASSE*, ASSE/ANSI Z244.1, 2008.
- [26] Organisation internationale de normalisation (ISO), "Matériel pour l'industrie textile : exigences de sécurité. Partie 1, exigences communes", *ISO*, ISO 11111-1, 2009.
- [27] Lupin, H., "Centres d'usinage à grande vitesse (Centres UGV)", Institut national de recherche et de sécurité, France, Guide ND-2138, 2003. [En ligne]. Disponible : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ND%202138>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [28] Association française de normalisation (AFNOR), "Machines-outils : Sécurité : Centres d'usinage", *AFNOR*, NF EN 12417+A2, 2009.
- [29] American National Standards Institute (ANSI), "Graphic technology: safety requirements for graphic technology equipment and systems. Part 3, binding and finishing equipment and systems", *ANSI*, ANSI B65-3, 2011.
- [30] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines : prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines d'impression et de transformation du papier. Partie 3, coupeuses et massicots", *AFNOR*, NF EN 1010-3, 2010.
- [31] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines : prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines de fabrication et de finition du papier. Partie 5, coupeuses", *AFNOR*, NF EN 1034-5+A1, 2010.

- [32] American National Standards Institute (ANSI), "American national standard: graphic technology: safety requirements for graphic technology equipment and systems. Part 1, general requirements ", *ANSI*, ANSI B65.1, 2011.
- [33] Organisation internationale de normalisation (ISO), "Matériel pour l'industrie textile : Exigences de sécurité. Partie 2, machines de préparation de filature et machines de filature", *ISO*, ISO 11111-2, 2009.
- [34] Beauchamp, Y., Stobbe, T.J., Ghosh, K., Imbeau, D., "Determination of a Safe Slow Robot Motion Speed Based on the Effect of Environmental Factors", *Human factors*, vol. 33, no. 4, pp. 419-427, 1991.
- [35] Karwowski, W., Parsaei, H., Soundararajan, A., Pongpatanasuegsa, N., "Estimation of Safe Distance from the Robot Arm as a Guide for Limiting Slow Speed of Robot Motions", *Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting*, vol. 2, pp. 992-996, 1992.
- [36] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines. Prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines de fabrication et de finition du papier. Partie 6, calandres", *AFNOR*, NF EN 1034-6+A1, 2010.
- [37] American National Standard Institute (ANSI), "American National Standards for industrial robots and robot systems: safety requirements", *ANSI*, ANSI/RIA R15.06, 1999.
- [38] Association canadienne de normalisation (CSA), "Protection des machines", *CSA*, CSA Z432-04, 2009.
- [39] Association canadienne de normalisation (CSA), " Robots industriels et systèmes robotiques : exigences générales de sécurité", *CSA*, CSA Z434-03, 2013.
- [40] Association française de normalisation (AFNOR) "Sécurité des machines : prescriptions de sécurité pour la conception et la construction de machines de fabrication et de finition du papier. Partie 1, prescriptions communes", *AFNOR*, NF EN 1034-1+A, 2010.
- [41] Ambrose, D.H., Bartels, J.R., Kwitowski, A.J., Gallagher, S., Battenhouse Jr., T.R., "Computer simulations help determine safe vertical boom speeds for roof bolting in underground coal mines", *Journal of safety research*, vol. 36, pp. 387-397, 2005.
- [42] Association internationale de sécurité sociale, "Prévention des risques mécaniques, solutions pratiques", *ISSA prevention series*, no. 2014, Genève, 1994.
- [43] Lupin, H., Marsot, J., "Sécurité des machines et des équipements de travail : moyens de protection contre les risques mécaniques", *Institut national de recherche et de sécurité*, France, Guide ED-807, 2006.¹⁰

¹⁰ Ce document a été remplacé par le guide ED-6122 de l'INRS [56].

- [44] Association canadienne de normalisation (CSA), "Code de sécurité sur les ascenseurs et monte-charge", CSA, CSA B44-00, 2003.
- [45] Organisation internationale de normalisation (ISO), "Sécurité des machines : protecteurs : prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles", ISO, ISO 14120, 2007.
- [46] Association française de normalisation (AFNOR), "Règles de sécurité pour la construction et l'installation des ascenseurs. Partie 1, ascenseurs électriques", AFNOR, NF EN 81-1+A3, 2010.
- [47] Lupien, T., "Action sur les machines : le massicot droit", Association sectorielle paritaire de santé et de sécurité du travail, secteur imprimerie et activités connexes, Québec, Canada, fiche technique, 2010. [En ligne]. Disponible : http://www.aspimprimerie.qc.ca/fichier/contenupublication/Action_Machine_Massicot.pdf . [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [48] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines d'emballage. Partie 8, cerceuses", AFNOR, NF EN 415-8, 2008.
- [49] Organisation internationale de normalisation (ISO), "Ergonomie des ambiances thermiques : méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces. Partie 1, surfaces chaudes", ISO, ISO 13732-1, 2008.
- [50] Kuivanen, R., Kwarowski, W., "Experimental study to determine safe limit for reduced speed of robot motions", *Ergonomics of Hybrid Automated Systems III. Proceedings of the Third International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing and Hybrid Automation*, p 475-80, 1992.
- [51] Park, J.-J., Song, J.-B., Haddadin, S., "Collision analysis and safety evaluation using a collision model for the frontal robot-human impact", *Robotica*, pp. 1-15, 2013.
- [52] Institut für Auslandsbeziehungen (IFA), "BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive: design of workplaces with collaborative robots", *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung*, 2011.
- [53] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines d'emballage. Partie 10, prescriptions générales", AFNOR, EN 415-10, 2014.
- [54] Comité européen de normalisation (CEN), " Sécurité des machines : parties des systèmes de commande relatives à la sécurité", CEN, EN 954-1, 1996.
- [55] Organisation internationale de normalisation (ISO), "Sécurité des machines - parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1, principes généraux de conception", ISO, ISO 13849-1, 1999.
- [56] Blaise, J.-C., Lefèvre, B.-D., Lupin, H., Marsot, J., Wélitz, G., "Sécurité des équipements de travail. Prévention des risques mécaniques", Institut national de recherche et de sécurité,

France, Guide ED-6122, 2012. [En ligne]. Disponible : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%206122>. [Dernière consultation : 30 juin 2014].

- [57] Organisation internationale de normalisation (ISO), " Robots et dispositifs robotiques : exigences de sécurité pour les robots industriels. Partie 1, robots", *ISO*, ISO 10218-1, 2011.
- [58] Blaise, J.-C., Wéltz, G., "Sécurité des machines. Modes de fonctionnement protections neutralisées", Institut national de recherche et de sécurité, France, Guide ED-6129, 2012. [En ligne]. Disponible : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%206129>. [Dernière consultation : 27 juin 2014].
- [59] Association française de normalisation (AFNOR), "Sécurité des machines d'emballage. Partie 7, machines de groupe et d'emballage secondaire", *AFNOR*, EN 415-7, 2008.

ANNEXES

ANNEXE A : BROCHURE DE PRÉSENTATION UTILISÉE LORS DE LA PRISE DE CONTACT AVEC LES ENTREPRISES

Extrait de l'article 186 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec :

186. Réglage, déblocage, maintenance, apprentissage et réparation: Lorsqu'un travailleur doit accéder à la zone dangereuse d'une machine à des fins de réglage, de déblocage, de maintenance, d'apprentissage ou de réparation, incluant la détection d'anomalie de fonctionnement, et que, pour ce faire, il doit déplacer ou retirer un protecteur, ou neutraliser un dispositif de protection, la machine ne doit pouvoir être mise en marche qu'au moyen d'un mode de commande manuel ou que conformément à une procédure sécuritaire spécifiquement prévue pour permettre un tel accès. Ce mode de commande manuel ou cette procédure doit présenter les caractéristiques suivantes :

- 1° il rend inopérant, selon le cas, tout autre mode de commande ou toute autre procédure ;
- 2° il ne permet le fonctionnement des éléments dangereux de la machine que par l'intermédiaire d'un dispositif de commande nécessitant une action continue ou un dispositif de commande bimanuel ;
- 3° il ne permet le fonctionnement de ces éléments dangereux que dans des conditions de sécurité accrue, par exemple, à vitesse réduite, à effort réduit, pas à pas ou par à-coups.

Membres de l'équipe de recherche :

Yuvinn Chinniah, ing., Ph.D — Chercheur responsable

Polytechnique Montréal
Département de mathématiques et de génie industriel
C.P. 6079, succ. Centre-ville
Montréal, Québec, H3C 3A7
Téléphone : 514-340-4711, poste 2268
Courriel : yuvinn.chinniah@polymtl.ca

Barthélemy Aucourt, ing. jr. — Associé de recherche

Polytechnique Montréal
Téléphone : 514-340-4711, poste 4878
Courriel : barthelemy.aucourt@polymtl.ca

Réal Bourbonnière, ing. — Consultant en sécurité des machines

Téléphone : 819-769-1786
Courriel : real@realbourbonniere.com

Recherche sur la sécurité des machines lors des interventions en mode de vitesses et/ou efforts réduits



**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

Présentation du projet et des besoins pour les visites en entreprises

DE QUOI S'AGIT-IL ?

Polytechnique Montréal a mis sur pied un projet de recherche visant à caractériser les interventions sur les machines pendant lesquelles la protection des travailleurs est principalement assurée par une réduction de la vitesse de fonctionnement ou des efforts (énergie) requis. Cette recherche est financée par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST).

POURQUOI EFFECTUER CETTE RECHERCHE ?

Chaque année au Québec plusieurs accidents graves et mortels se produisent lors d'interventions sur des machines. Dans certaines situations, une des solutions préconisées par l'article 186 du Règlement sur la Santé et la Sécurité au Travail (RSST) est de faire en sorte que la vitesse ou les efforts requis pour faire fonctionner l'équipement soient réduits à un seuil assurant la protection des travailleurs.

Malheureusement, les valeurs de vitesses et d'efforts réduits ne sont pas connues.

Un des objectifs de cette recherche est de comprendre et de caractériser les conditions encadrant ces interventions en entreprises.

VOTRE COLLABORATION EST IMPORTANTE

Afin d'obtenir une représentation variée des situations de travail, 20 entreprises seront sélectionnées dans 4 secteurs d'activités dans lesquels des machines variées sont utilisées. C'est à cette étape de la recherche que nous comptons sur votre collaboration qui sera déterminante pour les résultats.

« Comment fait-on pour s'assurer que la vitesse ou les efforts (énergies) de fonctionnement de notre équipement sont suffisamment réduits pour assurer la protection de nos travailleurs ? »

QUE VOULONS-NOUS OBSERVER ?

Nous cherchons à observer des tâches pendant lesquelles l'accès à une zone dangereuse est requis pendant le fonctionnement de la machine et où la réduction de la vitesse ou de l'effort requis pour son fonctionnement est la mesure principale de réduction du risque.

Les tâches peuvent par exemple être rendues nécessaires pour des besoins d'ajustements, de déblocage ou de détection d'anomalies et elles sont réalisées alors que la machine est en fonctionnement.

Un exemple typique de cette situation est celui où un travailleur doit entrer dans la cellule (enceinte) d'un robot et, en utilisant un dispositif de validation, permettre son fonctionnement à vitesse réduite afin de vérifier la programmation de sa trajectoire.

QUELS SONT LES CRITÈRES DES SITUATIONS À OBSERVER ?

La zone dangereuse...

doit être circonscrite et être normalement rendue inaccessible par un protecteur (fixe, mobile) ou un dispositif de protection (rideau optique, tapis sensible, etc.).

La tâche...

est nécessaire pour des besoins autres que ceux de production normale, par exemple afin de permettre, la recherche de défauts, des réparations, des ajustements, etc.

La vitesse ou les efforts (énergies) de la machine... doivent être réduits de façon à devenir le principal moyen de réduction du risque qui permet alors au travailleur de réaliser la tâche de façon sécuritaire.

QUELLES SERONT LES RETOMBÉES ?

Les valeurs de vitesse et d'efforts réduits seront mieux connues ainsi que les caractéristiques des tâches pour lesquelles cette solution est requise.

Les résultats des observations réalisées pendant la visite, sous la forme d'une grille, seront remis à chacune des usines participantes au projet.

Suite à la publication des résultats, les préventionnistes seront mieux outillés à évaluer la sécurité des travailleurs dans un tel contexte d'application de l'article 186 du RSST.

Ultimement, c'est la sécurité des travailleurs qui s'en trouvera améliorée.

ANNEXE B : LETTRE D'INTRODUCTION UTILISÉE LORS DE LA PRISE DE CONTACT AVEC LES ENTREPRISES

Montréal, le 22 octobre 2012



Yuvinn Chinniah, Polytechnique Montréal

Barthélemy Aucourt, Polytechnique Montréal

Réal Bourbonnière, Consultant en sécurité des machines

Projet de recherche

« Interventions en mode de vitesses et efforts réduits »

Objet : Besoins pour l'observation de situations de travail en usine

Madame, Monsieur,

Chaque année au Québec plusieurs accidents graves et mortels se produisent lors d'interventions sur des machines. Dans certaines situations, une des solutions préconisées par l'article 186 du Règlement sur la Santé et la Sécurité au Travail (RSST) est de faire en sorte que la vitesse ou les efforts requis pour faire fonctionner l'équipement soient réduits à un seuil assurant la protection des travailleurs.

Polytechnique Montréal a mis sur pied un projet de recherche visant à caractériser ces interventions sur les machines pendant lesquelles la protection des travailleurs est principalement assurée par une réduction de la vitesse de fonctionnement ou des efforts (énergies) requis tel que proposé à l'article 186 du règlement. Cette recherche est financée par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST).

Les visites en entreprises constituent une des étapes très importantes du projet et c'est pourquoi nous sollicitons votre participation en nous aidant à l'identification de tâches et de situations de travail se réalisant dans les conditions liées à l'application de l'article 186 pendant lesquelles la vitesse ou les efforts (énergies) de fonctionnement de l'équipement sont réduits à un niveau jugé sécuritaire pour les travailleurs.

Critères des situations à observer

Pour les besoins de la recherche, les tâches pendant lesquelles cette mesure de réduction du risque est utilisée doivent présenter certaines caractéristiques précises :

1. Elles doivent être effectuées dans le cadre **de réglage, de déblocage, de maintenance, d'apprentissage, de réparation, de changement de processus de fabrication, de recherche de défauts ou de nettoyage**. Il ne doit pas s'agir d'une tâche de production
2. Pour effectuer la tâche, l'accès à la zone dangereuse doit nécessiter **le retrait ou la neutralisation d'un protecteur** (fixe ou mobile) ou d'un dispositif de protection (rideau optique, tapis sensible, etc.).
3. La machine ou l'équipement doit nécessairement être **en marche** pour la réalisation de la tâche.
4. La **vitesse ou les efforts (en termes d'énergie) doivent être réduits** à un niveau jugé sécuritaire pour offrir une protection adéquate aux travailleurs. À titre d'exemple, la réduction pourrait être appliquée à la vitesse de rotation d'un rouleau, à la vitesse de déplacement d'un élément mobile, à la température d'un élément chauffant, à la force maximale de fermeture d'une pince, etc.

Exemples

À titre d'exemple, il pourrait s'agir d'une machine de fabrication de friandises au chocolat fonctionnant à l'aide d'un convoyeur qui doit être nettoyé périodiquement. Ce nettoyage doit être réalisé pendant que le convoyeur, normalement rendu inaccessible par un protecteur mobile pendant la production, est mis en marche, mais à une vitesse d'avance réduite.

Ce pourrait aussi être le cas d'un robot dont la programmation de trajectoire doit faire l'objet d'une observation locale. Le déplacement des mouvements du robot sera alors limité à une vitesse jugée sécuritaire pour le travailleur se trouvant à l'intérieur de l'enceinte qui empêche normalement l'accès à la zone dangereuse.

Détails sur le déroulement des visites

L'équipe de recherche est constituée de trois personnes dont au moins deux seront présentes lors des visites. Pour les besoins de la visite, la présence d'un opérateur et/ou d'un mécanicien sera nécessaire pour effectuer la tâche observée et répondre aux questions de l'équipe de recherche.

Par ailleurs, il est important de préciser que dans un contexte où les travailleurs sont syndiqués, la participation des représentants patronal et syndical est souhaitable. Bien qu'elle ne soit pas obligatoire, il serait également pertinent qu'au moins un représentant du Comité de santé et de sécurité local soit impliqué dans la démarche au sein de l'entreprise.

Les visites peuvent avoir lieu n'importe quand dans la journée selon vos préférences. La durée d'une visite est d'une demi-journée.

À l'aide de grilles d'observations développées spécifiquement à cette fin, les chercheurs décriront le plus fidèlement possible la situation de travail qui leur sera présentée. Suite à la visite, une copie de la grille remplie dans laquelle seront consignées toutes les observations sera remise au responsable de l'entreprise participante. Bien qu'il ne s'agisse pas d'un travail d'expertise ou de consultation, les membres du projet seront évidemment heureux de tenter de répondre au meilleur de leurs connaissances aux questions qui pourraient s'avérer importantes aux yeux des participants au cours de la visite.

La confidentialité des informations colligées est assurée et la signature par les responsables du projet de lettres de confidentialités fait généralement partie de la démarche des entreprises.

Nous vous remercions à l'avance pour votre participation qui sera déterminante au succès de ce projet.

De la part de l'équipe de recherche, veuillez recevoir nos salutations distinguées.

Yuvinn Chinniah, ing., Ph.D — Chercheur responsable du projet

Barthélemy Aucourt, ing. Jr. — Associé de recherche

Réal Bourbonnière, ing., — Consultant en sécurité des machines

ANNEXE C : OUTIL DE COLLECTE DE DONNÉES UTILISÉ LORS DES VISITES EN ENTREPRISE

OUTIL DE COLLECTE DE DONNEES

Pour

L'activité de recherche :

**« Étude sur la sécurité des machines lors des interventions en mode
de vitesses et/ou efforts réduits »**

Rempli par : _____

Date : _____

Lieu : _____

Entreprise hôte : _____

Machine observée : _____

Consigne :

Pour remplir cet outil, obtenez l'information requise en interrogeant vos interlocuteurs, en demandant à un travailleur qualifié d'effectuer des essais de fonctionnement ou en observant l'environnement étudié.

Partie A : Prise de contact et caractérisation des tâches

Cette partie du questionnaire sera remplie en salle de réunion. Les questions ne concernent que la machine qui sera observée. Cependant, toute information complémentaire pertinente peut-être inscrite dans les cases « Remarque(s) ».

Objectifs Partie A :

- Identifier l'usine et les interlocuteurs ;
- Identifier les interventions nécessitant le fonctionnement de la machine avec des phénomènes dangereux accessibles ;
- Caractériser les motifs et besoins de ces interventions.

A.1 Identification de l'usine et des interlocuteurs :

N O M D E L ' U S I N E :	
A D R E S S E :	
E F F E C T I F S :	

I N T E R L O C U T E U R S			
Prénom	Nom	Titre / Fonction dans l'usine	Coordonnées

A.2. Effectuez-vous des interventions pendant lesquelles le fonctionnement de la machine est nécessaire alors que certains phénomènes dangereux sont sans protection et accessibles?

☐ Oui ☐ Non

A.3. Est-ce en : ☐ Mode de production (vitesses/efforts normaux)

☐ Mode de fonctionnement à vitesses/efforts réduits

A.4. En mode : ☐ Automatique ☐ Semi-automatique ☐ Manuel

A.5. Remarque(s) :

A.6. Caractérisation des interventions nécessitant le fonctionnement de la machine

Pour ce tableau, ne considérer que la machine ou partie de la machine sélectionnée pour la visite et n'utiliser qu'une ligne pour les tâches similaires.

Machine ou partie de la machine à prendre en compte : _____

Tâche	Motif de la tâche	Durée de la tâche	Fréquence de la tâche	V/E réduits(R) ou de production (P) ?	Pourquoi le fonctionnement de la machine est-il nécessaire ?
				☐ R ☐ P	
				☐ R ☐ P	
				☐ R ☐ P	
				☐ R ☐ P	

Remarque(s) :

A.7. Y a-t-il eu des accidents / incidents en opération ? ☐ Oui ☐ Non

A.8. Si oui, décrivez-le(s) :

A.9. Y a-t-il eu des accidents / incidents alors qu'un mode V/E réduits était utilisé ? ☐ Oui ☐ Non

A.10. Si oui, décrivez-le(s) :

Remarque(s) :

Partie B : Étude du mode de V/E réduit(s)

Cette partie du questionnaire sera remplie en salle de réunion. Les questions ne concernent que la machine faisant l'objet de la visite. Toutefois, toute information complémentaire pertinente peut-être inscrite dans les cases « Remarque(s) ».

Objectifs Partie B : Identifier les niveaux de vitesses et/ou efforts utilisés par défaut ou réglés sur la machine

Identifier les besoins des entreprises (pourquoi un tel mode a été ajouté, situation par rapport aux normes et à la réglementation)

Comprendre les choix de réglage et les contraintes encadrant ces choix

B.1. Mode d'utilisation de la machine à V/E réduits déterminé d'origine sur la machine ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui, passer à la question B. 5.

B.2. Sinon, pourquoi ce mode d'utilisation a-t-il été ajouté (besoins pour la tâche, pour faciliter la production, pour améliorer la sécurité, etc.) ?

--

B.3. Comment ce mode d'utilisation a-t-il été ajouté (modification programme, ajout commandes, etc.) ?

--

B.4. Par qui ce mode d'utilisation a-t-il été ajouté ?

☐ Fabricant	☐ Utilisateur (précisez) :	☐ Autre (précisez) :
------------------------------------	---	---

B.5. À quelle(s) description(s) considérez-vous que les tâches qui doivent être réalisées en mode de V/E réduit correspondent (cocher toutes les cases qui semblent correspondre) :

Note : ne pas évoquer la littérature, poser la question seulement par rapport au type de tâche (réglage, déblocage, etc.).

RSST art. 186 [1] :

☐ Réglage

☐ Déblocage

☐ Maintenance

☐ Apprentissage

☐ Réparation, incluant la détection d'anomalie

ISO 12100-2010

[2] :

☐ Changement de processus de fabrication

☐ Recherche de défauts

☐ Nettoyage

B.6. Valeur de la vitesse réduite sur la machine : _____

Valeur de l'effort réduit sur la machine : _____

B.7. Valeur basée sur de la documentation ? Si oui, indiquez le type et la référence du/des document(s).

☐ Norme	Indiquez la référence :
☐ Guide	Indiquez la référence :
☐ Article scientifique	Indiquez la référence :
☐ Autre	Indiquez la référence :

B.8. Sinon, comment avez-vous déterminé la valeur (exemple : expérience, tâtonnement, temps/distance d'arrêt)?

--

B.9. Choix effectué par :

☐

Fabricant

☐

Régleur/Monteur

☐

Opérateur

☐

Personnel de maintenance

☐

Autre :

B.10. Remarque(s) :

B.11. Est-il possible de modifier la valeur de vitesse/effort réduit ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui, qui peut le faire et comment ?

**Restriction de
droits**

B.12. d'accès : ☐ Aucune ☐ Mot de passe ☐ Clé ☐ Autre (précisez) : _____

B.13. Y a-t-il des contraintes techniques (ex. : de fabrication) limitant/influençant le choix de la valeur ? ☐ Oui ☐ Non

B.14. Si oui, lesquelles ?

B.15. Remarque(s) :

Partie C : Identification de la machine/zone dangereuse étudiée et observation d'une intervention en mode V/E réduit(s)

Objectifs Partie C : Repérer tous les moyens de réduction du risque en place
Observer et caractériser les conditions d'intervention
Identifier les risques

C.1. Notez les informations concernant la machine observée

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

C.2. Identifiez les moyens de réduction du risque en place sur la machine observée pour la zone d'intervention en mode de V/E réduits

Moyens de réduction du risque et dispositifs de protection en place	Quantité	Observation (Ex. : ouvert/fermé, activé/désactivé, déplacé, neutralisé)
1 ☐ Protecteur fixe		
2 ☐ Protecteur réglable		
3 ☐ Protecteur à fermeture automatique		
4 ☐ Protecteur mobile sans dispositif de verrouillage (définition selon les normes et non celle du RSST)		
5 ☐ Protecteur mobile avec dispositif de verrouillage (définition selon les normes et non celle du RSST)		
6 ☐ Protecteur mobile avec dispositif d'inter-verrouillage (définition selon les normes et non celle du RSST)		
7 ☐ Enceinte (Nombre de portes→)		

8	☐ Protecteur d'angle rentrant fixe		
9	☐ Protecteur d'angle rentrant sensible		
10	☐ Bordure sensible		
11	☐ Tapis sensible ou détecteur surfacique		
12	☐ Barrage immatériel		
13	☐ Détecteur optique de presse plieuse (laser)		
14	☐ Autre (précisez ; ex. : procédure établie) : _____		

*Neutralisé = désactivé ou fonction modifiée (ex. : protecteur mobile ouvert permettant le fonctionnement à vitesse réduite au lieu d'empêcher toute remise en mouvement après ouverture)

C.3. Remarque(s) :

C.4. Panneau(x) de commande ou télécommande(s) disponibles pour la machine* :

☐ Télécommande câblée ☐ Télécommande sans fil ☐ Panneau de commande

☐ Autre
(précisez) : _____

*Note : ici, on considère les commandes pour actionner la machine, mais pas du système de commande de sécurité.

C.5. Types d'arrêt d'urgence (AU) :

☐ Câble	Quantité : _____		
	Tendu :	☐ Oui	☐ Non
	Facilement remarquable :	☐ Oui	☐ Non
	Facilement accessible :	☐ Oui	☐ Non

☐ Bouton	Quantité : _____				
	☐ Rouge	☐ Non encastré	☐ Type champignon	☐ Sur fond jaune	☐ À réarmement manuel
	Facilement remarquable :	☐ Oui	☐ Non		
	Facilement accessible :	☐ Oui	☐ Non		

☐ Pédale	Quantité : _____		
	Facilement remarquable :	☐ Oui	☐ Non
	Facilement accessible :	☐ Oui	☐ Non

☐ Barre	Quantité : _____		
	Facilement remarquable :	☐ Oui	☐ Non
	Facilement accessible :	☐ Oui	☐ Non

☐ Poignée	Quantité : _____
Facilement remarquable :	☐ Oui ☐ Non
Facilement accessible :	☐ Oui ☐ Non

C.6. Faire un schéma avec : zone dangereuse (géométrie), protecteurs, position des commandes et AU



Observer le/les intervenants et compléter la grille ci-dessous concernant la tâche observée, prendre des photos.

C.7. Tâche observée : _____

Nombre d'intervenants : _____

C.8.

Risques observés	Moyens de protection observés	Position du travailleur			État de la protection		
		Proche ¹	Dans la trajectoire ²	Contact ³	Utilisée ⁴	Déplacée ⁵	Neutralisée ⁶
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐
		☐	☐	☐	☐	☐	☐

¹ Proche = à portée de bras (≈ 850 mm)

⁴ Utilisée = protection en place et utilisée telle quelle

² Dans la trajectoire = dans la trajectoire d'une pièce en mouvement

⁵ Déplacée = protecteur démonté, protection supprimée

³ Contact = en contact direct ou indirect (outil) avec le phénomène dangereux

⁶ Neutralisée = modifiée ou contournée

Exemples de phénomènes dangereux fréquents : angle rentrant (cylindre/cylindre, cylindre/matériau, poulie/courroie, disque/plan, etc.), pièce en mouvement, pièces coupantes ou pointues en mouvement, température, pièce en mouvement (dimension et forme de la surface de contact), etc.

C.9. Remarque(s) :

--

C.10. Indiquez les outils nécessaires pour réaliser la tâche :

--

C.11. Conditions d'intervention :

- ☐ Chaussures de sécurité ☐ Gants ☐ Casque ☐ Lunettes de sécurité ☐ Protecteurs auditifs ☐ Masque
- ☐ Éclairage spécial ☐ Avertissement de départ ☐ Formation ☐ Autre (précisez) : _____

C.12. Présence de signaux informant du mode sélectionné ?

- ☐ Écran panneau de commande ☐ Signal lumineux ☐ Signal sonore ☐ Autre (précisez) : _____

C.13. Accès à la zone dangereuse :

- ☐ Protecteur mobile ouvert ☐ Protecteur fixe démonté
- ☐ Recours à la neutralisation de la protection en place initialement

Protection neutralisée : _____ Comment ? Pourquoi ?	Protection neutralisée : _____ Comment ? Pourquoi ?
---	---

C.14. Remarque(s) :

--

C.15. Dispositifs de commande à action continue, commande bimanuelle [1]:

☐ Commande bimanuelle ☐ Commande action maintenue à ☐ Poignée de validation ☐ Pédale de validation

☐ Autre (précisez) : _____

Quel est l'effet de la commande ?

☐ Marche continue ☐ Par à-coups ☐ Pas à pas

☐ Marche limitée dans le temps Noter la durée de la temporisation : _____

☐ Marche limitée par une distance Noter la distance maximale : _____

C.16. Support de commande utilisé pour le mode V/E réduits :

☐ Câblé ☐ Télécommande ☐ Panneau de commande général fixe ☐ Panneau de commande local fixe

☐ Cabine ☐ Autre (précisez) : _____

Note : rappel du nombre d'intervenants : _____

C.17. S'il y a plusieurs intervenants, qui contrôle le mouvement ?**C.18. Comment les intervenants s'organisent-ils pour assurer la sécurité de chacun (communication) ?**

C.19. Indiquez la distance entre la commande utilisée et le phénomène dangereux (cm) : _____

C.20. La zone dangereuse concernée par la tâche est-elle visible depuis la commande utilisée ? ☐ Oui ☐ Non

C.21. Toutes les zones dangereuses accessibles de la machine sont-elles visibles ? ☐ Oui ☐ Non

C.22. Comment le système passe-t-il en mode V/E réduits ?

☐ Bouton de sélection du mode V/E réduits

Type : ☐ Sélecteur

☐ Sélecteur à clé

☐ Interrupteur/bouton poussoir

☐ Autre (précisez) : _____

☐ À l'ouverture d'un protecteur verrouillé

☐ Simple réglage (ex. : potentiomètre, changement sur une interface, etc.)

☐ Autre (précisez) : _____

C.23. Fiche de procédure écrite requise pour l'opération ?

☐ Oui

☐ Non

Note : Faire le lien avec C.2. : le moyen de réduction du risque peut être une « procédure sécuritaire », selon l'article 186 du RSST

C.24. Si oui, est-elle comprise et compréhensible par tout le monde (formation, alphabétisation, langue) ?

☐ Oui

☐ Non

C.25. Remarque(s) :

C.26. Où se trouve-t-elle ? ☐ S/O ☐ À proximité de la machine ☐ Autre (précisez) : _____

C.27. Est-il possible d'en avoir une copie ? ☐ Oui ☐ Non

C.28. Est-ce qu'un test est possible pour vérifier que le mode sélectionné fonctionne correctement ?

☐ Oui

☐ Non

C.29. Si oui, décrivez la démarche utilisée pour le test :

Partie D : Essais

L'objectif de cette partie est d'effectuer des essais pour répondre aux questions concernées par la machine observée. Si cela n'est pas possible, alors se fier aux réponses des intervenants et l'indiquer.

Objectifs Partie D :

- Effectuer des essais pour répondre aux questions ;
- Déterminer les effets des différentes protections en place ;
- Effectuer, si possible, des mesures de vitesse, effort, température, etc. ;
- Étude de points particuliers à certaines machines (identifiés dans la littérature).

D.1. TOUTE MACHINE

D.1.a. Quelle que soit la machine observée, pour chaque moyen de protection en place pour la zone dangereuse étudiée, déterminer, PAR DES ESSAIS*, leurs effets et présenter les résultats dans le tableau ci-dessous :

Moyen de protection	Effets observés

*S'il n'est pas possible d'effectuer d'essai, poser la question aux intervenants

Partie E : Technologie utilisée

Objectifs Partie E : Identification des moyens techniques utilisés pour réduire et maintenir les vitesses, efforts, énergies à un niveau jugé sécuritaire (une fois que le mode V/E réduit(s) a été sélectionné) ;
Identification des moyens de vérification mis en place.

E.1. Savez-vous comment s'effectue techniquement* (c.-à-d. une fois que le mode V/E réduits a été enclenché) la limitation de la vitesse, de l'effort, de l'énergie cinétique, de la pression (entourer la mention utile) ?

*Exemples de moyens techniques pour limiter les vitesses ou efforts :

Par limitation de la puissance (ex. : du moteur électrique, du circuit hydraulique)

Changement du moteur (i.e. : installer un moteur moins puissant)

Réglage dans le programme de la machine

Potentiomètre (réglage manuel)

E.2. À quelle catégorie ou PL de l'ISO 13849 [7] ou quel SIL de la CEI 62061 [8] répond le circuit de commande responsable de la limitation de vitesse ou d'effort?

E.3. Comment est effectué le contrôle ou la vérification et le maintien de la grandeur (effort, vitesse, etc.) ?

☐ Circuit de contrôle (boucle de régulation SIL, PL, autre?) **Répond à quelle catégorie de l'ISO 13849 ? _____**

☐ Autre (détaillez ci-dessous) :

E.4. Présence d'un indicateur de la vitesse, l'effort, etc. ? ☐ Oui ☐ Non

E.5. Type d'indicateur (manomètre, indication numérique) ?

E.6. Sinon, comment savez-vous que la bonne vitesse, le bon effort, etc. est effectif ?

**E.7. De façon générale, quelles vérifications faites-vous avant d'effectuer votre tâche en mode V/E réduits ?
Et comment ?**

E.8. Remarque(s) :

ANNEXE D : DÉROULEMENT TYPE D'UNE VISITE EN ENTREPRISE

Organisation de la visite (≈ ½ journée)**- En salle de réunion :**

- ✓ **(15 min)** Présentations, rappel des objectifs du projet, signature du « *formulaire d'information et de consentement* »

- ✓ **Partie A (30 min) :**

Objectifs :

- Identifier l'usine et les interlocuteurs ;
- Identifier les interventions nécessitant le fonctionnement de la machine avec des phénomènes dangereux accessibles ;
- Caractériser les motifs et besoins de ces interventions.

- ✓ **Partie B (45 min) : Étude du mode de V/E réduit(s)**

Objectifs :

- Identifier les niveaux de vitesses et/ou efforts utilisés par défaut ou réglés sur la machine ;
- Identifier les besoins des entreprises (pourquoi un tel mode a été ajouté, situation par rapport aux normes et à la réglementation) ;
- Comprendre les choix de réglage et les contraintes encadrant ces choix.

- En usine :

- ✓ **Partie C (1 h) : Identification de la machine/ zone dangereuse étudiée et observation d'une intervention en mode V/E réduit(s)**

Objectifs :

- Repérer tous les moyens de protection en place ;
- Observer et caractériser les conditions d'intervention ;
- Identifier les risques.

- ✓ **Partie D (1 h) : Essais**

Objectifs :

- Effectuer des essais pour répondre aux questions ;
- Déterminer les effets des différentes protections en place ;
- Effectuer, si possible, des mesures de vitesse, effort, température, etc. ;
- Étude de points particuliers à certaines machines (identifiés dans la littérature).

- ✓ **Partie E (30 min) : Technologie utilisée**

Objectifs :

- Identification des moyens techniques utilisés pour réduire et maintenir les vitesses, efforts, énergies à un niveau jugé sécuritaire (une fois que le mode V/E réduit(s) a été sélectionné) ;
- Identification des moyens de vérification mis en place.

Note : les durées indiquées sont une estimation et peuvent varier (en plus ou en moins) en fonction des disponibilités des entreprises et du matériel observé.