

É

Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

RAPPORT R-557



La sécurité des machines automatisées

Analyse des risques et des moyens de protection
sur une presse à injection de plastique

*Yuvin Chinniah
Mathieu Champoux*



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

Mission *travaillent pour vous !*

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

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

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

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

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.

De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

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

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2008

ISBN : 978-2-89631-253-5 (version imprimée)

ISBN : 978-2-89631-254-2 (PDF)

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
avril 2008



Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

■ RAPPORT R-557

La sécurité des machines automatisées

Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique

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, Service de la recherche, IRSST

Mathieu Champoux, IRSST

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

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

SOMMAIRE

Plusieurs accidents impliquant des machines automatisées sont survenus au cours des dernières années au Québec. Ce rapport a pour principal objectif de proposer une démarche pour évaluer la sécurité d'une machine automatisée, notamment une presse à injection de plastique se trouvant dans le laboratoire de sécurité des machines à l'IRSSST. Cet objectif est atteint principalement en appliquant la démarche d'appréciation du risque présentée dans la norme ISO 14121 :1999 à cette machine et en identifiant les moyens de réduction des risques qui sont présents.

Des publications scientifiques sur la sécurité des systèmes automatisés ont servi pour mieux comprendre la problématique. La documentation du fabricant de la presse et deux normes concernant la sécurité des presses à injection de plastique, notamment EN 201 et ANSI/SPI B151.1-1997, ont été consultées pour faciliter l'élaboration de la démarche d'appréciation du risque et la conception d'une grille visant à évaluer la sécurité de la presse à injection de plastique de l'IRSSST. Deux usines ont participé brièvement à l'étude en permettant aux chercheurs d'observer les différentes interventions dans des milieux de travail, sur deux presses à injection similaires à la presse de l'IRSSST. Des normes sur les systèmes de commande reliés à la sécurité des machines ont été étudiées et ont servi à l'élaboration de la démarche et à documenter les moyens de réduction de risque présents sur la presse de l'IRSSST.

Les hypothèses émises, les données considérées et les limites de l'analyse de risque de la presse à injection de l'IRSSST sont présentées. Plusieurs phénomènes dangereux qui sont associés à des situations dangereuses et à des événements dangereux causant des dommages allant de simples contusions au décès des travailleurs ont été identifiés.

Bien que ces résultats ne puissent pas être transposés directement lors d'une analyse de risque réalisée sur une autre presse ou un autre type de machine automatisée, il n'en demeure pas moins que ces résultats constituent un exemple d'analyse de risque sur une presse à injection faisant ressortir de nombreuses formulations types de phénomène dangereux, de situation dangereuse et d'événement dangereux.

Par ailleurs, diverses mesures de protection présentes sur la presse de l'IRSSST ainsi que différents composants intégrés dans les circuits de commande relatifs à la sécurité de la presse, qui se retrouvent dans plusieurs types de machines industrielles, ont été identifiés. Des principes de base et de sécurité éprouvés sont identifiés. Leurs fonctions et caractéristiques sont présentées. Le recensement des mesures de réduction du risque a permis de mettre en évidence, entre autres, que (i) certaines zones dangereuses de la presse n'étaient pas rendues totalement inaccessibles malgré la présence des protecteurs; (ii) il subsistait un risque résiduel sur la presse, notamment en raison de la présence des protecteurs de la presse qui peuvent causer des blessures; et (iii) plusieurs prescriptions de la norme ISO 13849-1 :1999 étaient respectées dans la presse de l'IRSSST. Une grille d'évaluation de la sécurité de la presse à injection de plastique de l'IRSSST, basée sur certaines prescriptions et exigences retrouvées dans la norme ANSI/SPI B151.1-1997 a aussi été élaborée, mais n'a néanmoins pas été validée en usine.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier plus particulièrement Christian Sirard et Renaud Daigle, deux collègues de l'IRSST. Christian Sirard a fait fonctionner à maintes reprises la presse à injection de l'IRSST afin de nous permettre de faire des observations et différents tests fonctionnels. Nous désirons également remercier Renaud Daigle pour son précieux apport au cours de cette étude, notamment lors des visites en industrie.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	i
Remerciements.....	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX.....	v
1. INTRODUCTION	1
1.1 Les accidents impliquant des machines au Québec	1
1.2 La sécurité des machines automatisées.....	1
1.3 Objectifs de la présente étude	3
1.4 Contenu du rapport	3
2. Presse à injection de plastique automatisée	5
2.1 Le secteur du plastique au Québec.....	5
2.2 Fonction d'une presse à injection	5
2.3 Fonctionnement d'une presse à injection de plastique	5
2.3.1 Unité de plastification et d'injection.....	6
2.3.2 Unité de fermeture	6
2.3.3 Unité de refroidissement.....	6
2.3.4 Unité d'éjection.....	6
3. Cadre de référence	7
3.1 Normalisation en sécurité des machines	7
3.2 Processus accidentel.....	7
3.3 Processus de sécurisation.....	8
3.4 Appréciation du risque.....	9
3.4.1 Analyse du risque.....	9
3.4.2 Évaluation du risque	10
3.5 Réduction du risque	10
4. Méthodologie	13
5. Résultats.....	15
5.1 Analyse du risque.....	15
5.1.1 Hypothèses.....	15
5.1.2 Données considérées.....	15
5.1.3 Détermination des limites de l'analyse	16
5.1.4 Identification des phénomènes dangereux	19
5.1.5 Recensement et explications concernant les mesures de protection présentes sur la presse de l'IRSST.....	32
5.1.6 Blocage mécanique du plateau mobile	32

Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique

5.1.7	Protection contre le feu et les brûlures.....	32
5.1.8	Protection contre l'éclatement des composants hydrauliques	32
5.1.9	Protection contre les émissions indésirables.....	33
5.1.10	Protecteurs.....	33
5.1.11	Arrêt d'urgence et pictogrammes.....	38
5.1.12	Circuits de commande relatifs à la sécurité et composants choisis et utilisés selon des principes de sécurité reconnus	38
5.1.13	Risque électrique.....	40
5.2	Analyse du risque.....	41
5.2.1	Phénomènes, situations et événements dangereux.....	41
5.2.2	Domages	44
5.3	Recensement des mesures de réduction du risque	44
5.3.1	Principes de sécurité de base.....	45
5.3.2	Principes de sécurité éprouvés	45
5.3.3	Composants éprouvés	45
6.	Discussion	47
6.1	Analyse du risque.....	47
6.1.1	Transposition des résultats pour un autre équipement.....	47
6.1.2	Difficultés rencontrées	47
6.2	Élaboration d'un outil d'évaluation de la sécurité	49
7.	Conclusion	51
8.	Références.....	53
	Annexe A : Sécurité des systèmes commandés par des API	57
	Annexe B : Accidents impliquant des machines automatisées.....	59
	Annexe C : Exemples de phénomènes, situations et événements dangereux	63
	Annexe D : Outil d'estimation du risque proposé par la CSST et l'IRSST.....	65
	Annexe E : Accidents sur les presses à injection automatisées	67
	Annexe F : Références et fonctions des composants utilisés dans les circuits de commande relatifs à la sécurité de la presse à injection de l'IRSST	71
	Annexe G : Documentation des interventions réalisées auprès des presses dans deux usines	73
	Annexe H : Grilles d'évaluation en fonction de la norme ANSI/SPI b151.1-1997.....	79
	Annexe I : Normes sur les systèmes de commande relatifs à la sécurité ISO 13849-1 : 1999.....	81

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Presse à injection	5
Figure 2 : Processus itératif pour atteindre la sécurité basé sur ISO 14121 : 1999	8
Figure 3 : Représentation schématique de la méthode itérative en trois étapes pour la réduction du risque basé sur ISO 12100-1 : 2003	12
Figure 4 : Presse à injection de l'IRSSST.....	16
Figure 5 : Volume considéré lors de l'analyse.....	18
Figure 6 : Localisation de plusieurs éléments de la presse situés à l'extérieur de la zone dangereuse du moule.....	20
Figure 7 : Localisation de plusieurs éléments situés dans la zone dangereuse du moule.....	20
Figure 8 : Mécanisme de fermeture	20
Figure 9 : Flexibles hydrauliques.....	20
Figure 10 : Protecteurs A, C et arrêt d'urgence	33
Figure 11 : Protecteur B.....	33
Figure 12 : Interrupteurs Svanne, S151A et S151B.....	35
Figure 13 : Protecteurs D, E, F1 et interrupteur S150	35
Figure 14 : Protecteurs F2 et F3.....	36
Figure 15 : Protecteur G, interrupteur S202 et ouverture résiduelle du protecteur G.....	36
Figure 16 : Protecteurs G, H et ouverture résiduelle du protecteur H	36
Figure 17 : Protecteur I et ouverture résiduelle	37
Figure 18 : Protecteur J et exemple de pictogramme affiché sur la presse.....	37
Figure 19 : Protecteurs K1 et K2	38
Figure 20 : Protecteur K3.....	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Spécifications techniques de la presse	17
Tableau 2 : Liste des éléments considérés et non considérés lors de l'analyse	18
Tableau 3 : Composantes du risque pendant l'opération de la presse et le montage/démontage du moule.....	21
Tableau 4 : Composantes du risque associées spécifiquement à la présence des protecteurs présents sur la presse.....	30
Tableau 5 : Localisation et fonction de quelques interrupteurs de sécurité de la presse (voir l'annexe F pour plus de détails).....	34
Tableau 6 : Formulations types pour plusieurs combinaisons de composantes du risque.....	41
Tableau 7 : Expressions potentielles visant à décrire quelques situations et événements dangereux.....	48

1. INTRODUCTION

1.1 Les accidents impliquant des machines au Québec

Selon la CSST [1], on a dénombré au Québec, entre 1999 et 2003, 101 décès de travailleurs en relation avec des machines et 63 766 accidents, liés à des machines, qui ont entraîné des déboursés de 234 409 548\$ en indemnités de remplacement de revenus. C'est donc dire qu'il est survenu en moyenne un peu plus de 12 750 accidents de travail annuellement associés à des machines au cours de cette période.

De plus, l'examen de 165 rapports d'accident de la CSST, rédigés suite à un accident grave ou mortel survenu entre 1999 et 2003 et relié à une machine, révèle que la moitié de ces accidents ont eu lieu au cours des opérations courantes ou lors des travaux de déblocage [1]. Ces 165 accidents s'expliquent notamment par l'absence de protecteurs, de mauvaises méthodes de travail, une méconnaissance des équipements et des sources d'énergie, des procédures de cadenassage absentes, incomplètes, méconnues ou non appliquées, un manque de formation des travailleurs sur la sécurité, une mauvaise utilisation de l'équipement et une mauvaise conception de l'équipement ou des dispositifs de protection [1]. Vu le nombre élevé d'accidents en lien avec des machines, la CSST a élaboré un plan d'action « sécurité des machines » où les dangers liés à des pièces en mouvement sont devenus une priorité de l'année 2005-2006.

1.2 La sécurité des machines automatisées

De nos jours, les machines automatisées, par exemple les machines commandées par des automates programmables industriels (API) qui régissent et commandent l'ensemble des séquences de fonctionnement des machines, se retrouvent tout aussi bien dans les petites, les moyennes et les grandes entreprises. De plus, ces machines sont présentes dans de nombreux secteurs industriels tels les pâtes et papiers, les scieries, les usines spécialisées dans la fabrication des produits métalliques et électriques, la transformation alimentaire et les usines fabriquant des produits en plastique.

L'automatisation permet potentiellement de réduire considérablement les lésions attribuables au travail répétitif et nécessitant des efforts physiques importants. De plus, en automatisant les machines ou les lignes de production, il est souvent possible d'éloigner les opérateurs des zones dangereuses.

Toutefois, l'automatisation n'élimine pas toutes les interventions humaines et des tâches telles que le réglage, le déblocage ou la maintenance peuvent présenter des situations dangereuses pour les travailleurs. Qui plus est, l'automatisation crée souvent de nouveaux risques, notamment lors de la mise en marche intempestive¹ des actionneurs².

¹ Une mise en marche intempestive, c'est-à-dire un démarrage accidentel, peut, par exemple, être causée par une défaillance de l'automate ou par l'actionnement involontaire d'un interrupteur de position par un travailleur.

² Il existe plusieurs types d'actionneurs comme par exemple des moteurs électriques et des vérins hydrauliques.

Bien qu'aucune étude sur les accidents impliquant des machines automatisées n'ait été réalisée à ce jour au Québec, un examen des rapports d'enquête d'accident rédigés par la CSST révèle que des accidents, souvent très graves ou mortels, surviennent lors des interventions sur des machines automatisées intégrant un automate programmable³. Ces rapports d'enquête de la CSST et une étude [2] réalisée par l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) portant sur la sécurité des machines automatisées sont synthétisés à l'annexe B. Ces rapports et cette étude, ainsi qu'une étude précédente de l'INRS [3] mettent en évidence plusieurs facteurs ayant contribué aux accidents survenus sur ce type de machine. Voici quelques-uns de ces facteurs :

- un dysfonctionnement de la machine automatisée, nécessitant des interventions pour rétablir la production, c'est-à-dire lors de la récupération des incidents qui sont des états s'écartant du fonctionnement normal du système automatisé;
- une erreur humaine menant à un actionnement involontaire des commandes;
- un actionnement involontaire d'un capteur utilisé à des fins de production, par un travailleur accédant à une zone dangereuse sur la machine automatisée;
- un manque de protecteurs (fixes ou mobiles) sur les machines permettant l'accès à des zones dangereuses;
- une mauvaise conception du système de commande relatif à la sécurité de la machine;
- la rareté des pannes pouvant conduire à placer les intervenants dans des situations inusitées;
- l'absence d'analyse de risque complète à l'étape de conception;
- un manque de formation des opérateurs qui, autrefois affectés seulement aux tâches de production, deviennent de plus en plus polyvalents et se voient confier des responsabilités de maintenance sans bénéficier de connaissances suffisantes sur le fonctionnement de la machine et de ses dangers;
- un contournement du dispositif de sécurité pour minimiser les temps d'arrêt et résoudre les problèmes complexes rapidement;
- l'enlèvement des protecteurs ou dispositifs de protection lors des interventions de maintenance corrective ou préventive;
- l'évolution du système automatisé où des changements sont apportés sans que le travailleur en ait connaissance; les machines demeurent sous le contrôle de l'API lors des interventions; et
- l'absence de procédure de cadenassage ou des erreurs commises lors de l'application de cette procédure.

Cela dit, les machines automatisées sont de plus en plus présentes dans les usines et elles sont la cause de plusieurs accidents. Or, plusieurs normes en sécurité des machines préconisent la réalisation d'une appréciation du risque au moment de la conception de l'équipement et suite à son implantation en usine.

³ L'annexe A définit l'automate programmable et présente une introduction à quelques événements dangereux impliquant directement des API.

1.3 Objectifs de la présente étude

Cette étude exploratoire sur la sécurité des machines commandées par des automates programmables industriels (API) vise principalement à élaborer une démarche pouvant être utilisée pour évaluer la sécurité d'une machine automatisée. La démarche présentée ici s'appuie principalement sur des normes en sécurité des machines et porte sur une presse à injection automatisée. Cet équipement a été choisi comme objet d'étude, car il présente une multitude de phénomènes dangereux et plusieurs protecteurs mobiles verrouillés. De plus, l'étude a aussi pour objectif de se familiariser davantage avec la presse présente dans le laboratoire de l'IRSSST, car cette machine sera utilisée lors des études futures, incluant une étude sur le cadenassage. Par ailleurs, il est prévu de réaliser une analyse de risque sur la presse. Finalement, cette activité devrait également permettre l'élaboration d'un outil d'évaluation de la sécurité de la presse à injection.

1.4 Contenu du rapport

Ce rapport présente tout d'abord à la section 2 une brève description de la fonction et du fonctionnement d'une presse à injection de plastique automatisée. Ensuite, la section 3 situe la démarche d'analyse de risque dans le processus de sécurisation des machines et précise les principes ainsi que la terminologie liés à la démarche mise en œuvre au cours de l'étude. De son côté, la section 4 décrit la méthodologie employée au cours de la réalisation de cette activité. Quant à elle, la section 5 présente les résultats obtenus durant l'étude et la section 6 fait état de l'analyse des résultats. Dans la section 7, les discussions sont présentées et la conclusion du rapport de recherche est présentée dans la section 8.

2. PRESSE À INJECTION DE PLASTIQUE AUTOMATISÉE

La presse à injection de plastique a été choisie, car elle comporte plusieurs phénomènes dangereux de natures différentes (mécanique, thermique, chimique et électrique). Cette machine combine aussi plusieurs technologies, soit électrique, électronique et hydraulique.

Dans cette section du rapport, quelques données concernant le secteur de l'industrie du plastique au Québec sont présentées. Ensuite, la fonction et le fonctionnement d'une presse à injection de plastique automatisée sont décrits.

2.1 Le secteur du plastique au Québec

L'industrie du plastique emploie environ 25 000 travailleurs au Québec dans au-delà de 500 entreprises [4]. Les industries sont concentrées principalement dans la région de Montréal, en Montérégie, en Estrie et en Chaudière-Appalaches

2.2 Fonction d'une presse à injection

Une presse à injection de plastique, dont un exemple est illustré à la figure 1, est une machine utilisée pour la production de pièces en plastique. Ce procédé permet une production automatique et en série de pièces en plastique avec une grande précision. La machine à injection permet de plastifier des granules de plastique et de l'injecter sous forte pression à travers une buse dans l'empreinte d'un moule.

2.3 Fonctionnement d'une presse à injection de plastique

Une machine à injecter se compose principalement : (i) d'une unité de plastification et d'injection, (ii) d'un moule, (iii) d'une unité de fermeture (iv) d'une unité de refroidissement et (v) d'une unité d'éjection.

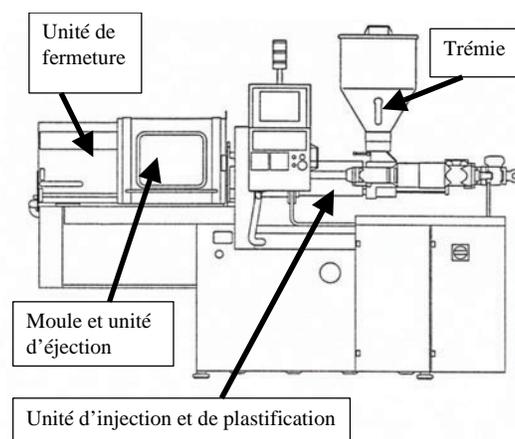


Figure 1 : Presse à injection

2.3.1 Unité de plastification et d'injection

L'unité de plastification et d'injection a pour rôle de faire fondre des pastilles de plastique par l'apport de la chaleur générée par des éléments chauffants et par la friction causée par la rotation de la vis de l'unité. Cette vis assure aussi le transport et la mise sous pression de la matière fondue à travers la buse jusque dans le moule.

2.3.2 Unité de fermeture

Quant à elle, l'unité de fermeture permet la fermeture et le blocage de la partie du moule fixée au plateau mobile sur la partie du moule assemblée au plateau fixe. Cette unité permet donc de conserver le moule fermé pendant l'injection et le refroidissement du plastique. Bien sûr, celle-ci assure également l'ouverture du moule à la fin d'un cycle de fabrication.

2.3.3 Unité de refroidissement

De son côté, l'unité de refroidissement du moule est utilisée pour abaisser la température du plastique se retrouvant dans l'empreinte du moule à des fins de solidification.

2.3.4 Unité d'éjection

Une fois le refroidissement de la ou des pièces de plastique terminé et l'ouverture du moule complétée, l'unité d'éjection se charge d'expulser la ou les pièces du moule.

3. CADRE DE RÉFÉRENCE

Cette section décrit le contexte normatif lié à la sécurité des machines et plus particulièrement à la sécurité des presses à injection de plastique. Des précisions concernant le processus accidentel et le processus de sécurisation sont décrits par la suite. Les étapes de l'appréciation du risque et quelques explications concernant la phase de réduction du risque sur une machine concluent la section 3 du rapport.

3.1 Normalisation en sécurité des machines

Plusieurs organismes à travers le monde élaborent des normes traitant de la sécurité des machines. On retrouve notamment l'Association canadienne de normalisation (CSA), l'American National Standard Institute (ANSI), le Comité européen de normalisation (CEN), l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et la Commission Électrotechnique Internationale (CEI).

On retrouve une grande quantité de normes sur la sécurité des machines. Certaines font état des concepts et principes fondamentaux qui s'appliquent à toutes les machines. C'est le cas, par exemple, de ISO 14121 :1999 qui précise les principes de base pour l'appréciation du risque sur les machines. Il en va de même pour les normes ISO 12100-1 :2003 et ISO 12100-2 :2003 qui spécifient la terminologie, la méthodologie et les principes techniques associés à la conception sécuritaire des machines.

D'autres normes vont quant à elles décrire les exigences concernant des moyens de protection ou des dispositifs de protection spécifiques. Viennent ensuite les normes qui s'adressent spécialement à un type de machine comme c'est le cas de la norme européenne EN 201 :1997 et de la norme américaine ANSI/SPI B151.1-1997 qui précisent les exigences, sur le plan de la sécurité, que doivent rencontrer les presses à injection de plastique. Mais aussi, on retrouve des normes comme CSA Z432 :2004 qui font état à la fois des concepts et principes fondamentaux qui s'appliquent aux machines en général et des exigences que doivent rencontrer les mesures de protection ou les systèmes assurant la sécurité des travailleurs.

Il faut souligner qu'au Canada, il n'existe aucune norme spécifique à la sécurité des presses à injection de plastique. Voilà ce qui explique que tout au long du rapport, les références à EN 201 :1997 et à ANSI/SPI B151.1-1997 sont nombreuses.

3.2 Processus accidentel

Pour mieux comprendre les principes qui guident l'analyse du risque dans le domaine de la sécurité des machines, il est important de comprendre les éléments du processus accidentel, c'est-à-dire les éléments que l'on doit retrouver pour que survienne un accident causant une lésion.

Tout d'abord, pour qu'une personne subisse un dommage résultant d'un accident, il faut que celle-ci se retrouve en situation dangereuse, c'est-à-dire une «situation dans laquelle une personne est exposée à au moins un phénomène dangereux» [5]. On entend par phénomène

dangereux toute «source potentielle de dommage» [6]. Ensuite, avant que ne se produise un accident, il faut que survienne un événement dangereux, c'est-à-dire un «événement susceptible de causer un dommage» [6].

C'est donc lorsque l'on est en présence (i) d'un phénomène dangereux, (ii) d'une situation dangereuse et (iii) d'un événement dangereux que peut survenir un accident résultant en (iv) un dommage à une personne c'est-à-dire une «blessure physique ou atteinte à la santé» [5]. Voilà pourquoi l'analyse du risque vise notamment à mettre en évidence ces quatre éléments lors de l'examen des activités humaines impliquant des machines. À ce propos, l'annexe C présente quelques exemples de phénomènes, situations et événements dangereux inspirés de la norme ISO 14121 :1999.

3.3 Processus de sécurisation

Dans le but d'assurer la sécurité des personnes intervenant auprès des équipements et de faciliter la prise de décision concernant la sécurité des machines, la norme ISO 14121 :1999 préconise la mise en œuvre de l'appréciation du risque suivie, si cela s'avère nécessaire, d'une démarche de réduction du risque (voir la figure 2).

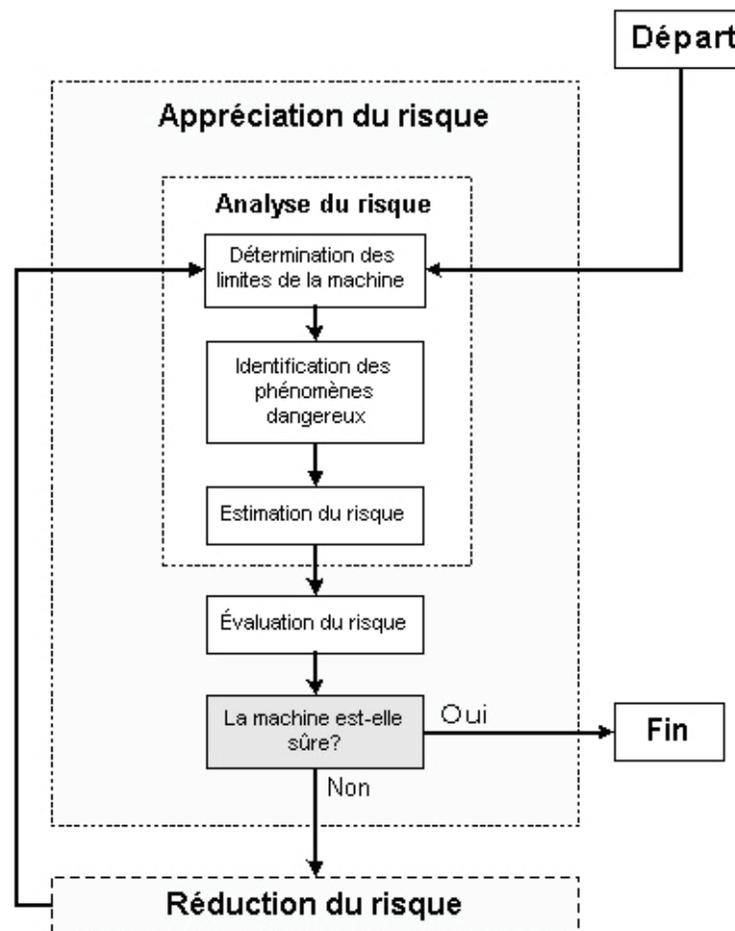


Figure 2 : Processus itératif pour atteindre la sécurité basé sur ISO 14121 : 1999

3.4 Appréciation du risque

L'appréciation du risque est définie comme étant le «processus global d'analyse et d'évaluation du risque» [6]. Cette démarche consiste en une série d'étapes visant à porter un jugement sur la sécurité de la machine, permettant ainsi de statuer si une démarche de réduction du risque doit être entreprise. L'appréciation du risque est donc une étape essentielle à tout processus d'amélioration de la sécurité d'une machine.

La démarche comporte une phase d'analyse du risque et une phase d'évaluation du risque qui sont expliquées plus en détail dans les paragraphes suivants.

3.4.1 Analyse du risque

L'analyse du risque comporte trois étapes. La première étape concerne la détermination des limites de la machine. Ensuite, vient l'identification des phénomènes dangereux et, finalement, l'estimation du risque.

a) Détermination des limites de la machine

Cette étape a pour but de préciser les conditions dans lesquelles la machine sera utilisée. On y spécifie notamment les caractéristiques de la machine et de l'environnement où sera situé l'équipement. On y précise également les caractéristiques des personnes ainsi que des produits qui interagiront avec celle-ci ou à proximité durant toutes les phases de la vie de la machine. Au cours de cette étape, il est aussi pertinent de mettre en évidence les bons et mauvais usages raisonnablement prévisibles de la machine ainsi que les conséquences de défaillances raisonnablement prévisibles.

b) Identification des phénomènes dangereux

Une fois les limites de la machine identifiées, l'étape d'identification des phénomènes dangereux peut être amorcée. Cette phase de l'analyse du risque consiste à répertorier systématiquement tous les phénomènes dangereux pouvant se produire durant la vie de la machine. Durant cette étape, il est également avantageux d'identifier toutes les situations dangereuses et tous les événements dangereux, notamment afin de faciliter la mise en œuvre de l'étape suivante, c'est-à-dire l'estimation du risque.

c) Estimation du risque

Après l'identification des phénomènes dangereux, l'estimation du risque peut débuter. Cette étape vise à déterminer l'ampleur de l'enjeu que représente chacun des phénomènes dangereux identifiés précédemment afin de faciliter la prise de décision. Pour ce faire, la norme ISO 14121 :1999 préconise l'emploi de la notion de risque défini comme étant la «combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage» [6].

Selon ISO 14121 :1999, la probabilité d'occurrence du dommage est fonction des trois paramètres suivants:

- fréquence et durée d'exposition des personnes au phénomène dangereux;

- probabilité d'occurrence d'un événement dangereux; et
- possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage.

La description d'un outil d'estimation du risque proposé par la CSST et l'IRSST est présentée à l'annexe D. Cet outil utilise quatre paramètres pour estimer le risque : (i) la gravité du dommage, (ii) la fréquence et/ou la durée d'exposition au phénomène dangereux, (iii) la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux et (iv) la possibilité d'évitement du dommage [7].

3.4.2 Évaluation du risque

Une fois l'analyse du risque terminée, il faut alors mener l'évaluation du risque qui consiste à porter un «jugement destiné à établir, à partir de l'analyse du risque, si les objectifs de réduction du risque ont été atteints» [5]. En fait, l'évaluation du risque vise à déterminer si une démarche de réduction du risque doit être entreprise pour la machine à l'étude.

ISO 12100-1 :2003 précise qu'une réduction adéquate du risque est une «réduction du risque répondant au moins aux exigences légales, l'état de la technique du moment étant pris en considération.» Le Guide ISO/CEI 51 :1999 définit quant à lui le risque tolérable comme un «risque accepté dans un certain contexte et fondé sur les valeurs admises par la société». Il spécifie également que le risque tolérable est «le résultat de la recherche d'un équilibre optimal entre une sécurité absolue idéale et les exigences auxquelles doit satisfaire le produit, le procédé, ou le service, ainsi que de facteurs tels que bénéfique pour l'utilisateur, aptitude à l'emploi, bon rapport qualité/prix, et les conventions de la société concernée.»

Pour faciliter l'évaluation du risque, ISO 12100-1 :2003 énonce quelques critères permettant de déterminer si une réduction adéquate du risque a été obtenue. Tout d'abord, il faut s'assurer que la méthode itérative de réduction du risque en trois étapes, illustrée à la figure 3, a été suivie. Ensuite, il faut passer en revue une série de questions pour lesquelles il est essentiel de répondre par l'affirmative pour considérer que le risque a été réduit de manière adéquate. Parmi celles-ci, on retrouve notamment les deux questions ci-dessous.

- «Est-il certain que les mesures prises ne génèrent pas de phénomènes dangereux nouveaux?»
- «Est-il certain que les conditions de travail de l'opérateur et la commodité d'emploi de la machine ne sont pas compromises par les mesures de prévention prises?»

3.5 Réduction du risque

Dès que l'évaluation du risque mène à la conclusion que la machine n'est pas suffisamment sûre, la démarche itérative de réduction du risque en trois étapes, illustrée à la figure 3, doit être entreprise jusqu'à ce que la machine soit considérée sécuritaire [6]. Comme il est possible de le constater à la figure 3, la norme ISO 12100-1 :2003 préconise que les mesures de réduction du risque soient implantées en favorisant celles dont l'efficacité est accrue. En effet, la norme précise que les mesures doivent être adoptées en privilégiant l'ordre ci-dessous.

- 1) Les mesures de prévention intrinsèques comme, par exemple, l'élimination des arêtes vives de la machine, la limitation de la vitesse des éléments mobiles, les mesures réduisant le bruit à la source et la substitution des produits dangereux par des produits peu ou pas nocifs [8].

- 2) Les mesures de protection comme, par exemple, les protecteurs fixes, les protecteurs mobiles verrouillés et les dispositifs de protection. À cela s'ajoutent, s'il y a lieu, les mesures de prévention complémentaires comme, par exemple, les fonctions d'arrêt d'urgence et les mesures visant à secourir le personnel coincé dans une machine [8].
- 3) Les informations pour l'utilisation comme, par exemple, les signaux et dispositifs d'avertissement, les avertissements écrits, les pictogrammes, les notices d'instruction et les procédures [8].

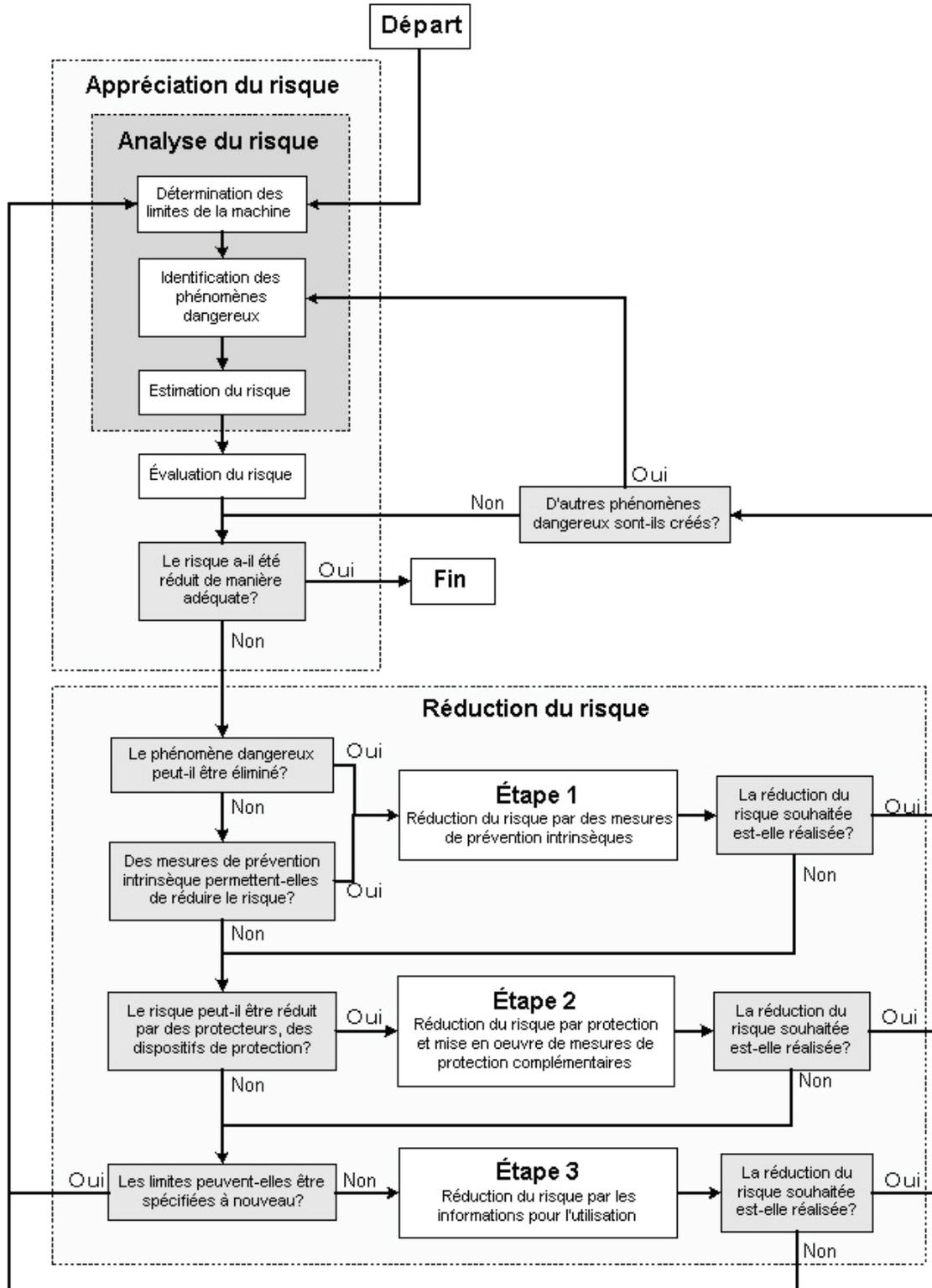


Figure 3 : Représentation schématique de la méthode itérative en trois étapes pour la réduction du risque basé sur ISO 12100-1 : 2003

4. MÉTHODOLOGIE

Pour mener à bien cette activité, les chercheurs se sont d'abord familiarisés avec la presse à injection de l'IRSST en l'observant fonctionner, en consultant la documentation du fabricant (plans, guide, manuel de maintenance, schémas électriques et hydrauliques) et en effectuant des relevés et des essais fonctionnels sur la machine.

Par la suite, deux visites en usines ont été effectuées afin d'observer la réalisation d'activités sur deux presses à injection de plastique automatisées, similaires à la presse de l'IRSST. Lors de ces visites, les chercheurs ont également questionné le personnel pour mieux saisir le contexte de production propre à chaque entreprise. Néanmoins, cette partie de l'étude a été limitée intentionnellement, car l'objectif était uniquement de mieux effectuer l'analyse de risque sur la presse de l'IRSST.

Après toutes ces étapes, les chercheurs ont appliqué la démarche d'analyse du risque, tel que stipulée dans la norme ISO 14121 :1999, à la presse à injection de l'IRSST. Des moyens de réduction de risque présents sur la machine et incluant des systèmes de commande relatifs à sécurité ont été recensés et analysés. La norme ANSI/SPI B151.1-1997 a été consultée afin d'élaborer un outil visant à évaluer la sécurité de la presse à injection automatisée de l'IRSST.

5. RÉSULTATS

5.1 Analyse du risque

Dans cette section, les résultats de l'analyse du risque réalisée sur la presse à injection de plastique automatisée de l'IRSSST sont présentés. Les phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux et dommages sont identifiés. Par ailleurs, ISO 14121 :1999 préconise que la procédure qui est suivie pour réaliser l'appréciation du risque doit être documentée.

Pour cette raison, cette section débute par l'énoncé des hypothèses qui ont été formulées au cours de l'analyse. Ensuite, l'origine des données utilisées pour réaliser l'analyse est mentionnée. Des précisions concernant les limites de l'équipement à l'étude et de l'analyse sont aussi présentées. Finalement, les résultats obtenus concernant l'identification des éléments du processus accidentel sont présentés.

5.1.1 Hypothèses

- 1) La presse n'est alimentée que par des pastilles de résine de polyéthylène haute densité.
 - 2) La même pièce sera toujours produite sur la presse.
 - 3) La température de l'eau de refroidissement à la sortie du moule est inférieure à 37 °C, ce qui fait en sorte que cette eau ne peut brûler un travailleur.
 - 4) En cas de projection de plastique à haute température et sous pression à partir de la zone du moule, le plastique projeté pourrait atteindre une personne située à plus d'un mètre du moule.
 - 5) Le contact d'une buse, ayant fait l'objet d'un mauvais montage ou d'une buse défectueuse, ne provoque pas de projection accidentelle.
 - 6) En cas de dysfonctionnement ou d'un mauvais réglage du système de refroidissement du moule, le moule ou à tout le moins certaines de ses parties pourraient atteindre une température suffisamment élevée pour causer une brûlure de la peau.
 - 7) Les événements dangereux associés à une surchauffe ayant lieu dans le cylindre de plastification et qui pourraient être causés par une détérioration des propriétés mécaniques des composants liés au cylindre de plastification ne sont pas considérés.
 - 8) Les protecteurs indiqués ci-dessous sont absents de la presse afin d'identifier les problèmes de sécurité qui ont motivé l'implantation de mesures de protection sur la machine et afin de mieux saisir les enjeux de sécurité présents en cas de contournement ou de mauvais fonctionnement des mesures de protection.
- Protecteurs: A, B, C, D, E, F1, F2, F3, G, H, I, J, K1, K2 et K3.

5.1.2 Données considérées

Afin d'alimenter la réflexion durant l'analyse, les chercheurs ont observé une personne opérer la presse de l'IRSSST et le personnel de deux usines réaliser des tâches sur des presses présentes dans leur usine.

Par ailleurs, les documents énumérés ci-dessous ont été consultés :

- douze résumés [9] de rapports d'enquête d'accident de la CSST survenus sur des presses à injection de plastique automatisées. Des résumés sont présentés à l'annexe E et sont classés en fonction des phénomènes dangereux et situations dangereuses liés à l'accident;
- les normes EN 201 :1997 et ANSI/SPI B151.1-1997;
- les fiches signalétiques de l'huile hydraulique, de la graisse, de la résine de polyéthylène à haute densité et des bonbonnes de silicone et de graisse en aérosol ;
- le document intitulé «Thermal Degradation Products of Polyethylene, Polypropylene, Polystyrene, Polyvinylchloride and Polytetrafluoroethylene in the Processing of Plastics»;
- les documents de formation offerts par Plastiforce;
- les documents intitulés «Machine Safety for Injection Molding Machines» et «Lockout/Tagout for Injection Molding Control of Hazardous Energy» publiés par OSHA et The Society of the Plastics Industry; et
- divers documents provenant du fabricant de la presse.

La température de la surface du protecteur du cylindre a été mesurée comme étant 45°C pendant le fonctionnement de la presse et la température de la surface de la buse pendant le fonctionnement de la presse était environ 190°C.

5.1.3 Détermination des limites de l'analyse

a) Caractéristiques de la presse à injection à l'étude

Année de fabrication : 2004

Type de presse : presse horizontale à vis

Localisation : laboratoire climatisé de l'IRSST, sans fenêtre



Figure 4 : Presse à injection de l'IRSST

Tableau 1 : Spécifications techniques de la presse

Paramètre	Valeur maximale	Paramètre	Valeur maximale
Force de fermeture maximale	350 kN	Force d'appui de buse	50 kN
Force de sécurité du moule	2 kN	Température atteinte dans le cylindre de plastification	350 °C
Course d'ouverture	200 mm	Volume du contenant de la trémie	50 L
Masse maximale du demi-moule mobile	75 kg	Vitesse rotative de la vis	35 m/min
Force d'éjection	24 kN	Masse nette	1120 kg
Course d'éjection	60 mm	Huile hydraulique	80 L (Tellus 46)
Pression maximale atteinte dans le circuit hydraulique	260 bar (26 MPa)		

b) Caractéristiques du moule installé sur la presse

Il est important d'apporter des précisions sur le moule installé sur la presse, car il existe toutes sortes de moules qui peuvent être associés à de nombreux systèmes qui peuvent créer des phénomènes dangereux. Voici donc quelques caractéristiques du moule de la presse de l'IRSSST.

- Le moule est en deux parties seulement et ne comporte pas de contre-plaque.
- Le moule ne dispose ni d'un noyau ni d'éléments chauffants.
- Le moule ne comporte ni vérin actionnant des tiroirs ni mécanisme pignon-crémaillère.
- Les éjecteurs du moule ont une géométrie ne créant pas de zone de coincement entre ceux-ci et la surface interne du moule fixé sur le plateau mobile.
- Le moule est en acier et a une masse approximative de 50 kg.

c) Activités considérées

Afin de restreindre l'ampleur de l'analyse, les chercheurs ont opté pour la réalisation d'une analyse du risque concernant uniquement l'opération (incluant le remplissage de la trémie et la lubrification des éjecteurs et du moule) et le montage/démontage de moule (incluant le démarrage de l'équipement et sa mise en température). Fait à noter, le montage/démontage du moule n'implique pas le remplacement de la buse.

d) Zone considérée lors de l'analyse

Seules les activités liées à l'opération et au montage/démontage du moule qui sont réalisées par le personnel à moins d'un mètre de l'équipement sont prises en considération. Il s'agit des activités réalisées dans le volume entourant la presse à injection précisé à la figure 5.

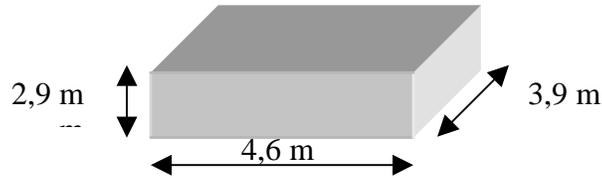


Figure 5 : Volume considéré lors de l'analyse

e) Matériel considéré et non considéré lors de l'analyse

Le tableau 2 identifie les éléments qui ont été considérés et ceux qui n'ont pas été considérés lors de cette analyse de risque.

Tableau 2 : Liste des éléments considérés et non considérés lors de l'analyse

Éléments considérés en plus de la presse	Éléments non considérés
Bonbonne de silicone en aérosol pour empêcher les pièces de plastique de coller dans le moule	Convoyeur mobile servant à transporter les pièces éjectées
Bonbonne de lubrifiant pour éjecteurs	Nettoyant pour moule en aérosol servant à conserver une belle finition des pièces de plastique
Sacs de pastilles de polyéthylène	Antirouille en aérosol pour protéger le moule
Marche-pied portatif utilisé pour alimenter la trémie en pastille de plastique	Broyeur servant à déchiqeter les pièces et résidus de plastique
Pastilles de polyéthylène	Système de captage des polluants servant à aspirer les émissions provenant de la zone du moule et de la buse.
Graisse pour lubrifier le mécanisme de fermeture et les colonnes de guidage	
Baguette métallique pour retirer le plastique collé dans la zone de la buse	
Contenant pour faciliter le remplissage de la trémie	
Soufflette d'air comprimé et son tuyau flexible	

f) Mauvais usages raisonnablement prévisibles

Les mauvais usages raisonnablement prévisibles qui ont été identifiés sont :

- le personnel peut grimper sur la presse pour atteindre le haut de la trémie lors de son remplissage;
- le personnel peut utiliser la soufflette d'air comprimé pour se nettoyer ou pour jouer un mauvais tour à un collègue;
- le personnel peut entreposer un élément à l'extrémité de la presse près de la trajectoire du chariot; et
- le personnel peut laisser une bonbonne de produit en aérosol sur l'unité de plastification ou à proximité.

g) Défaillances raisonnablement prévisibles

Les défaillances raisonnablement prévisibles suivantes ont été considérées:

- défaillance du système de protection du moule;
- défaillance du système de contrôle de la température de l'unité d'injection;
- défaillance du système de refroidissement du moule;
- fermeture non étanche du moule durant l'injection;
- bris d'un composant du mécanisme de fermeture;
- défaillance du système électronique programmable;
- rupture ou détachement accidentel d'un tuyau flexible;
- fuite d'huile ou d'eau; et
- défaillance de la mise à la terre.

5.1.4 Identification des phénomènes dangereux

Le tableau 3 présente les différentes composantes du risque, c'est-à-dire les phénomènes dangereux, les situations dangereuses, les événements dangereux et les dommages associés aux zones dangereuses identifiées sur la presse à injection de l'IRSST. Les moyens de protection existants sur la presse ne sont pas considérés lors de cette analyse, puisque celle-ci porte sur le risque initial.

Par contre, le tableau 4 présente les différentes composantes du risque associées à la présence de protecteurs sur la presse de manière à mettre en évidence que ces protecteurs créent des zones dangereuses et qu'il subsiste un risque résiduel sur l'équipement notamment en raison de la présence de ces protecteurs.

Afin de mieux situer les phénomènes dangereux répertoriés dans l'analyse du risque, plusieurs des éléments impliqués dans ces phénomènes dangereux sont illustrés aux figures 6 à 9.

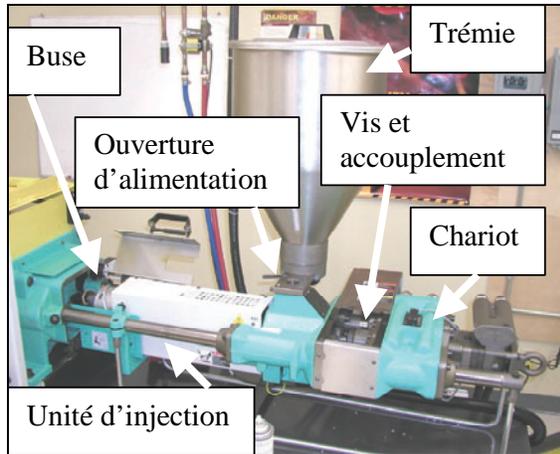


Figure 6 : Localisation de plusieurs éléments de la presse situés à l'extérieur de la zone dangereuse du moule

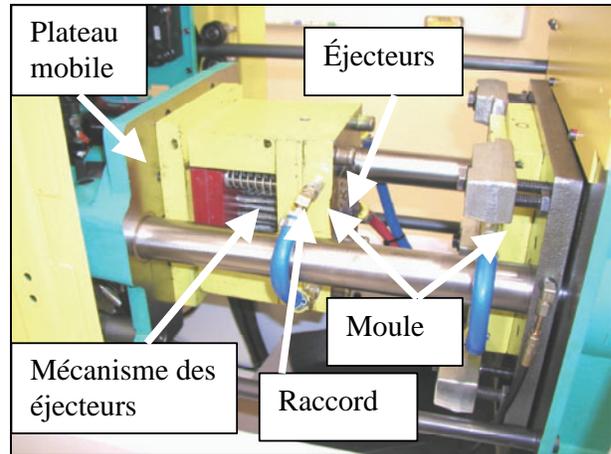


Figure 7 : Localisation de plusieurs éléments situés dans la zone dangereuse du moule

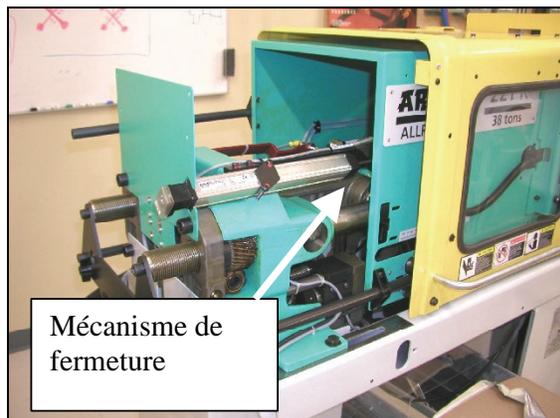


Figure 8 : Mécanisme de fermeture



Figure 9 : Flexibles hydrauliques

Tableau 3 : Composantes du risque pendant l'opération de la presse et le montage/démontage du moule

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dommage possible
Mouvement de fermeture du plateau mobile	Zone du moule	Être situé à proximité du plateau mobile pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire du plateau mobile pendant le mouvement	Coupure, écrasement, sectionnement, décès
		Être situé dans la trajectoire du plateau mobile pendant l'arrêt du mouvement	Démarrage intempestif du mouvement du plateau mobile (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Coupure, écrasement, sectionnement, décès
	À proximité de la presse	Être situé à proximité de la presse durant son fonctionnement	Projection d'un débris de moule mal monté ou d'un élément laissé dans le moule ou sur sa trajectoire	Perforation, fracture, blessure grave à l'œil, décès
Mouvement de va-et-vient des éjecteurs et de leur mécanisme	Zone du moule	Être situé à proximité des éjecteurs ou de leur mécanisme pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire des éjecteurs ou de leur mécanisme pendant le mouvement	Fracture, écrasement, contusion
		Être situé dans la trajectoire des éjecteurs ou de leur mécanisme pendant l'arrêt du mouvement	Démarrage intempestif du mouvement des éjecteurs et de leur mécanisme (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Fracture, écrasement, contusion
Haute température du moule	Zone du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure
Haute température du plastique	Zone du moule	Être situé à proximité du moule où se trouve du plastique à haute température	Entrer en contact avec le plastique à haute température	Brûlure

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dompage possible
	Zone de l'ouverture d'alimentation	Être situé à proximité de l'ouverture d'alimentation où se trouve du plastique à haute température	Entrer en contact avec le plastique à haute température	Brûlure
	Zone de la buse	Être situé à proximité du plastique à haute température situé près de la buse, à l'embouchure du moule ou sur la surface de la presse	Entrer en contact avec le plastique à haute température	Brûlure
Plastique à haute température sous pression	À proximité de la presse	Être situé dans la trajectoire de projection potentielle du plastique à haute température à partir de la buse	Projection accidentelle du plastique à haute température	Brûlure
	Zone de la buse	Être situé à proximité de la buse pendant l'écoulement de plastique à haute température	Entrer en contact avec le plastique à haute température	Brûlure
		Être situé à proximité de la buse, dans la trajectoire potentielle de l'écoulement du plastique à haute température, pendant qu'il n'y a aucun écoulement	Écoulement intempêtif du plastique à haute température	Brûlure
Forme coupante du moule	Zone du moule	Être situé à proximité du moule	Entrer en contact avec une arête vive du moule	Coupure
		Manipuler le moule	Entrer en contact avec une arête vive du moule	Coupure
Forme coupante des raccords	Zone du moule	Être situé à proximité des raccords	Entrer en contact avec l'arête vive d'un raccord du système de refroidissement	Coupure

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dommage possible
Lubrifiant des éjecteurs et de leur mécanisme en aérosol	Zone du moule	Être situé à proximité du jet de lubrifiant ou des éjecteurs ou de leur mécanisme recouvert de lubrifiant	Inhaler le produit	Étourdissement, inconscience
			Entrer en contact avec les éjecteurs ou leur mécanisme recouvert de lubrifiant	Dessèchement de la peau
			Contact du lubrifiant avec les yeux	Irritation des yeux
Silicone en aérosol	Zone du moule	Être situé à proximité du jet de silicone ou du moule recouvert de silicone	Inhaler le produit	Étourdissement, inconscience
			Entrer en contact avec le jet ou le moule recouvert de silicone	Dessèchement de la peau
			Contact du silicone avec les yeux	Irritation des yeux
Graisse lubrifiante	Zone du moule	Être situé à proximité des colonnes de guidage recouvertes de graisse	Entrer en contact avec les colonnes de guidage recouvertes de graisse	Irritation de la peau, dessèchement de la peau, dermatite
			Ingérer la graisse	Faible niveau de toxicité
Mouvement du mécanisme de fermeture	Zone du mécanisme de fermeture	Être situé à proximité des différents composants du mécanisme de fermeture qui sont recouverts de graisse	Entrer en contact avec les différents composants du mécanisme de fermeture qui sont recouverts de graisse	Irritation de la peau, dessèchement de la peau, dermatite
			Ingérer la graisse	Faible niveau de toxicité
		Être situé à proximité du mécanisme de fermeture pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire du mécanisme de fermeture pendant le mouvement	Écrasement, sectionnement, fracture, contusion

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dompage possible
fermeture		Être situé dans la trajectoire du mécanisme de fermeture pendant l'arrêt du mouvement	Démarrage intempestif du mouvement de fermeture (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Écrasement, sectionnement, fracture, contusion
	À proximité de la presse	Être situé à proximité de la presse durant son fonctionnement	Projection d'un débris provenant d'un composant du mécanisme qui s'est rompu ou d'un objet laissé par inadvertance dans le mécanisme	Contusion, perforation, fracture, décès
Haute température de la buse	Zone de la buse	Être situé à proximité de la buse à haute température	Entrer en contact avec la buse à haute température	Brûlure
		Être en contact avec la buse à la température de la pièce	Démarrage intempestif du système de chauffage de la buse (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Brûlure
Mouvement d'avance de l'unité de plastification et/ou d'injection portant la buse	Zone de la buse	Être situé à proximité de la buse en mouvement	Entrer dans la trajectoire de la buse en mouvement	Écrasement
		Être situé dans la trajectoire de la buse pendant l'arrêt du mouvement	Démarrage intempestif du mouvement de la buse (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Écrasement

Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dommage possible
Mouvement de rotation de la vis et de son accouplement	Zone de l'ouverture d'alimentation et zone protégée par le protecteur de la vis	Être situé à proximité de la vis durant le mouvement Être en contact avec la vis à l'arrêt	Entrer en contact (doigt, cheveux, cravate, etc.) avec la vis durant le mouvement Démarrage intempestif du mouvement de la vis (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Fracture, écrasement, décès Fracture, écrasement, décès
Mouvement de translation de la vis	Zone protégée par le protecteur de la vis	Être situé à proximité du chariot supportant la vis pendant le mouvement Être situé dans la trajectoire du chariot supportant la vis pendant l'arrêt du mouvement	Entrer dans la trajectoire du chariot supportant la vis pendant le mouvement Démarrage intempestif du mouvement du chariot supportant la vis (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Écrasement, fracture, contusion Écrasement, fracture, contusion
Mouvement de translation du chariot supportant la vis	À l'extrémité de la presse	Être situé à proximité de l'extrémité du chariot durant le mouvement Être situé dans la trajectoire de l'arrêt du mouvement	Entrer dans la trajectoire de l'extrémité du chariot en mouvement Démarrage intempestif du mouvement du chariot (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Contusion Contusion

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dompage possible
Haute température du cylindre de plastification et des éléments chauffants	Zone de l'unité de plastification et d'injection	Être situé à proximité du cylindre ou de ses éléments chauffants à haute température	Entrer en contact avec le cylindre ou les éléments chauffants à haute température	Brûlure
		Être en contact avec le cylindre ou ses éléments chauffants à la température de la pièce	Démarrage intempestif du système de chauffage du cylindre (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Brûlure
Huile hydraulique sous pression à haute température	Sur et autour de la presse	Être situé dans la trajectoire potentielle des tuyaux flexibles	Fouettement d'un tuyau flexible en cas de rupture accidentelle du tuyau ou d'un raccord	Contusion, fracture
		Être situé dans la trajectoire potentielle de projection de l'huile sous pression et à haute température	Projection accidentelle d'huile sous pression et à haute température en cas de rupture accidentelle d'un composant (tuyau, raccord, etc.)	Perforation de la peau engendrant une nécrose des tissus, blessure grave à l'œil, brûlure
Huile hydraulique sous pression à	Sur et autour de la presse	Être situé à proximité de la presse	Entrer en contact avec l'huile répandue suite à une fuite provenant d'un composant (tuyau, raccord, etc.)	Brûlure, faible irritation de la peau si l'huile s'est refroidie
			Contact de l'huile avec les yeux suite à une fuite provenant d'un composant (tuyau, raccord, etc.)	Irritation des yeux
		Être situé à proximité de la presse	Ingestion de l'huile suite à une fuite provenant d'un composant (tuyau, raccord, etc.)	Faible toxicité

Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dommage possible
haute température	Composant hydraulique	Être situé à proximité d'un composant hydraulique (tuyau, raccord, etc.) à haute température	Entrer en contact avec un composant hydraulique à haute température	Brûlure
Éléments combustibles au sein de la presse (huile hydraulique, plastique, etc.)	Partout autour de la presse	Être situé à proximité de la presse	Incendie de la presse	Intoxication, brûlure, décès
Électricité	Partout où il y a des composants faisant circuler l'électricité ou alimentés par celle-ci	Être situé à proximité d'éléments normalement sous tension (composants dans les panneaux électriques, conducteur d'un câble électrique dégainé, etc.)	Entrer en contact directement ou indirectement avec des éléments normalement sous tension	Électrisation, électrocution
Électricité	La presse en général	Entrer en contact avec un composant électrique alors qu'il n'est pas sous tension	Mise sous tension intempestive du composant électrique	Électrisation, électrocution
Pastilles de polyéthylène	Partout autour de la presse	Être situé à proximité de la presse à injection durant le chauffage des pastilles	Entrer en contact directement ou indirectement avec un élément anormalement sous tension, notamment en raison d'une défaillance de la mise à la terre	Électrisation, électrocution
			Inhalation de vapeurs et de fumées émises lors du chauffage des pastilles	Irritation des voies respiratoires et des yeux

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dommage possible
		Être situé à proximité des pastilles de polyéthylène	Contact des poussières provenant des pastilles avec les yeux Ingérer des pastilles	Irritation des yeux, lésions cornéennes En petite quantité, faible toxicité
Bruit émis par le système hydraulique de la presse	Partout autour de la presse	Être situé à proximité de la presse	Aucun événement dangereux identifié	Fatigue, surdité
Force gravitationnelle	Autour de la presse	Être situé sur le plancher à proximité de la presse	Chute sur le plancher	Contusion, entorse, fracture
		Être situé en hauteur (sur le marche-pied ou debout sur la presse)	Chute sur le plancher	Contusion, entorse, fracture, commotion cérébrale
		Être situé dans la trajectoire potentielle du moule lors de son installation	Chute accidentelle du moule	Écrasement, fracture, contusion
		Manipuler le moule	Chute accidentelle du moule	Écrasement, fracture, contusion
		Être situé à proximité de la presse ou sur celle-ci	Renversement de la presse	Écrasement, fracture, contusion, décès
Surface dure du panneau de commande	Panneau de commande	Être situé sous le panneau de commande	Se relever la tête	Contusion

Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dommage possible
Déplacement manuel de la trémie	Zone de l'ouverture d'alimentation et le long de la trajectoire de la trémie	Être situé à proximité de la trémie en mouvement	Entrer dans la trajectoire de la trémie pendant son déplacement	Contusion, fracture
		Être situé dans la trajectoire de la trémie à l'arrêt	Déplacement intempestif de la trémie	Contusion, fracture
Air comprimé	Autour de la presse	Être situé dans la trajectoire potentielle de particules lors du soufflage avec la soufflette	Projection accidentelle de particules	Corps étranger dans l'œil, perte de la vue
		Être situé à proximité de la soufflette d'air comprimé	Souffler de l'air comprimé dans un orifice du corps (narine, oreille, etc.)	Surdité (tympan déchiré), embolie et déchirures internes
		Être situé dans la trajectoire potentielle du tuyau flexible d'air comprimé	Fouetter d'un tuyau suite à un bris de celui-ci ou suite au détachement de la soufflette ou d'un des raccords du tuyau flexible	Contusion, fracture, blessure grave à l'œil
Contraintes biomécaniques et psychosociales	Autour de la presse	Manipuler les sacs de pastilles lors de l'alimentation de la presse en pastilles	Aucun événement dangereux identifié	Entorse lombaire
		Demeurer debout et se déplacer très peu	Aucun événement dangereux identifié	TMS, fatigue
		Réaliser des mouvements répétitifs	Aucun événement dangereux identifié	TMS, fatigue
		Adopter des postures contraignantes	Aucun événement dangereux identifié	TMS, fatigue

Tableau 4 : Composantes du risque associées spécifiquement à la présence des protecteurs présents sur la presse

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dompage possible
Mouvement de translation de l'unité de plastification et d'injection	Entre le protecteur de la buse (G) et le protecteur du cylindre (I) (voir l'ouverture résiduelle illustrée à la figure 15)	Être situé à proximité du protecteur I en mouvement Être situé dans la trajectoire du protecteur I à l'arrêt	Entrer dans la trajectoire du protecteur I en mouvement Démarrage intempestif du mouvement du protecteur I (ex. causé par une défaillance du système de commande électronique programmable)	Écrasement, fracture Écrasement, fracture
Ouverture et fermeture manuelle du protecteur du moule (A)	Le long de la trajectoire du protecteur du moule (A) illustré à la figure 10	Être situé à proximité du protecteur A en mouvement Être situé dans la trajectoire du mouvement du protecteur A à l'arrêt	Entrer dans la trajectoire du protecteur A pendant le mouvement Déplacement intempestif du mouvement du protecteur A	Contusion, fracture Contusion, fracture
Ouverture et fermeture manuelle du protecteur du mécanisme de fermeture (D)	Le long de la trajectoire du protecteur du mécanisme de fermeture (D) illustré à la figure 13	Être situé à proximité du protecteur D en mouvement Être situé dans la trajectoire du mouvement du protecteur D à l'arrêt	Entrer dans la trajectoire du protecteur D pendant le mouvement Déplacement intempestif du mouvement du protecteur D	Contusion, fracture Contusion, fracture
Ouverture et fermeture manuelle du protecteur de la buse (G)	Le long de la trajectoire du protecteur de la buse (G) illustré à la figure 15	Être situé à proximité du protecteur G en mouvement Être situé dans la trajectoire du mouvement du protecteur G à l'arrêt	Entrer dans la trajectoire du protecteur G pendant le mouvement Déplacement intempestif du mouvement du protecteur G	Contusion, fracture Contusion, fracture

Phénomène dangereux	Zone dangereuse	Situation dangereuse	Événement dangereux	Dompage possible
Fermeture manuelle du protecteur de la vis (J)	Le long de la trajectoire du protecteur de la vis (J) illustré à la figure 18	<p>Être situé à proximité du protecteur J en mouvement</p> <p>Être situé dans la trajectoire du mouvement du protecteur J à l'arrêt</p>	<p>Entrer dans la trajectoire du protecteur J pendant le mouvement</p> <p>Déplacement intempestif du mouvement du protecteur J</p>	<p>Contusion, fracture</p> <p>Contusion, fracture</p>

5.1.5 Recensement et explications concernant les mesures de protection présentes sur la presse de l'IRSST

La presse compte quatre circuits de commande relatifs à la sécurité au sein desquels sont regroupés de nombreuses mesures de protection et autres dispositifs assurant la sécurité du personnel intervenant sur la machine. Dans cette section, ces circuits mais aussi les principaux protecteurs de la machine sont présentés. De plus, on retrouve dans cette section un inventaire de plusieurs composants intégrés dans les circuits électriques et hydrauliques de la presse et favorisant le bon fonctionnement des mesures de protection assurant la sécurité du personnel. Il est à noter que les circuits de commande relatifs à la sécurité sont principalement à base d'une logique câblée et sont indépendants du système de commande électronique programmable de la presse qui permet à celle-ci de fonctionner en mode automatique.

5.1.6 Blocage mécanique du plateau mobile

En plus des protecteurs de la zone du moule, la presse comporte un système de blocage mécanique du plateau mobile qui assure une protection supplémentaire au personnel pénétrant dans cette zone. Ce système fonctionne comme suit : dès que le protecteur mobile protégeant la zone du moule est ouvert, l'alimentation en énergie électrique d'un solénoïde est coupée, permettant à quatre ressorts de pousser un dispositif mécanique dans les rainures d'une barre mécanique de façon à bloquer physiquement la fermeture du moule. Aussitôt que le protecteur est refermé, le solénoïde est alimenté à nouveau, ce qui entraîne le déblocage du plateau mobile. Un dysfonctionnement de ce dispositif mécanique est détecté par un système de surveillance qui arrête le cycle de la presse.

5.1.7 Protection contre le feu et les brûlures

Afin de réduire la probabilité que survienne un incendie, mais aussi des brûlures par contact de la peau avec la zone de plastification et d'injection ou encore avec l'huile hydraulique lors d'une fuite, la presse comporte deux systèmes de surveillance automatique de la température. Un premier système surveille la température de l'unité de plastification et d'injection afin d'assurer que la limite supérieure de température autorisée n'est pas dépassée. Ainsi, l'alimentation en énergie de tous les éléments chauffants est automatiquement interrompue dans les deux cas suivants :

- la limite supérieure de température autorisée est dépassée; ou
- en cas de défaut dans le système de régulation en température.

De plus, on retrouve sur la presse un autre système qui surveille la température de l'huile hydraulique de la presse. Dès que la température de l'huile dépasse 65⁰C, ce système entraîne la mise à l'arrêt de la machine.

5.1.8 Protection contre l'éclatement des composants hydrauliques

Dans le but de réduire la probabilité que survienne l'éclatement de composants hydrauliques en raison d'une surpression dans le circuit hydraulique, la presse comporte deux limiteurs de

pression. Un premier est placé en aval de la pompe hydraulique et limite la pression maximale à 260 bar (26 MPa). Un deuxième est situé en amont du vérin entraînant le mouvement de la buse, et limite la pression à 250 bar (25 MPa).

5.1.9 Protection contre les émissions indésirables

Afin de réduire la probabilité que le personnel soit incommodé par les fumées et vapeurs émises lors du chauffage du polyéthylène, un système de captage des polluants a été installé au-dessus de la zone du moule de la presse. De plus, le local où se trouve la presse dispose d'un système de ventilation assurant un apport d'air.

5.1.10 Protecteurs

La presse dispose de nombreux protecteurs afin d'assurer la protection physique des travailleurs. Voici, ci-dessous, les principales zones dangereuses de la presse ainsi que les protecteurs qui y sont associés.

a) Zone dangereuse du moule

La zone dangereuse du moule est protégée par trois protecteurs (A, B et C) illustrés aux figures 10 et 11.

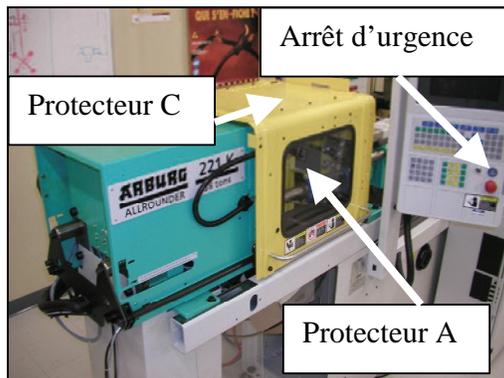


Figure 10 : Protecteurs A, C et arrêt d'urgence

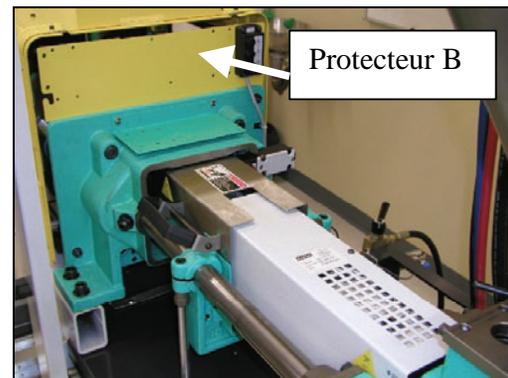


Figure 11 : Protecteur B

Protecteur A

Le protecteur A est un protecteur mobile verrouillé. Le protecteur en lui-même a pour fonction d'empêcher le personnel de pénétrer dans la zone dangereuse et de contenir les projections de plastique. Le système de verrouillage est composé de trois interrupteurs de position de sécurité aux rôles différents et identifiés comme S151A, S151B et Svanne dans les schémas électriques et hydrauliques. Ceux-ci sont illustrés à la figure 12.

S151A et S151B

Les interrupteurs de position S151A et S151B sont intégrés dans le circuit de commande 1 et leur actionnement, lors de l'ouverture du protecteur, entraîne la mise hors tension des distributeurs hydrauliques identifiés dans le tableau 5. Cette mise hors tension des distributeurs a pour conséquence d'arrêter les mouvements dangereux inscrits dans le tableau 5 et d'empêcher leur redémarrage tant et aussi longtemps que le protecteur demeure ouvert.

Tableau 5 : Localisation et fonction de quelques interrupteurs de sécurité de la presse (voir l'annexe F pour plus de détails)

Circuit de commande associé	Interrupteur	Distributeur actionné par l'interrupteur	Mouvement dangereux maîtrisé
1	S151A S151B S202 S204	PM	Mouvement d'ouverture et de fermeture du plateau mobile Mouvement du mécanisme de fermeture
		EJ	Mouvements de va-et-vient des éjecteurs et de leur mécanisme
		BU	Mouvement d'avance de l'unité de plastification et/ou d'injection portant la buse
		TV	Translation de la vis
		RV	Rotation de la vis
		3	Svanne

Svanne

Comme il est possible de le constater dans le tableau 5, l'interrupteur de position Svanne est intégré dans le circuit de commande 3. Lors de l'ouverture du protecteur A ou du protecteur D, cet interrupteur est actionné et il entraîne la mise hors tension du distributeur VS. Conséquemment, le mouvement de fermeture et d'ouverture du plateau mobile ainsi que le mouvement du mécanisme de fermeture s'arrêtent et ces mouvements ne peuvent être redémarrés tant que le protecteur A demeure ouvert.

Protecteur B

Le protecteur B est fixe et maintenu en place avec des vis. Il permet, lui aussi, d'empêcher d'atteindre la zone dangereuse du moule et il permet d'éviter que des projections de plastique atteignent le personnel situé près de la presse.

Protecteur C

Le protecteur C est un protecteur mobile verrouillé présentement vissé sur le dessus du protecteur A et pouvant éventuellement être retiré lors de l'emploi d'un bras robotisé. La barrière physique qu'il constitue empêche le personnel de pénétrer dans la zone dangereuse et il permet de contenir d'éventuelles projections de plastique. Le système de verrouillage est constitué de l'interrupteur S157 qui fait partie du circuit de commande 2.

Dès que le protecteur C est ouvert, cela a pour conséquence d'ouvrir le contacteur principal alimentant le moteur électrique, qui est couplé à la pompe hydraulique de la presse, et les éléments chauffants de l'unité de plastification et d'injection. De ce fait, cela entraîne l'arrêt du moteur et de la pompe, donc l'arrêt des mouvements dangereux indiqués au tableau 5 aussi bien que l'arrêt du chauffage de l'unité de plastification et d'injection. De plus, tant que le protecteur est maintenu ouvert, il n'est pas possible de faire redémarrer les mouvements dangereux et le chauffage.

Malgré la présence des nombreux protecteurs, la zone dangereuse du moule peut être atteinte par le personnel. En effet, rien ne restreint l'accès à la zone dangereuse en passant par le dessous de la presse.

b) Zone dangereuse du mécanisme de fermeture

L'accès à la zone dangereuse du mécanisme de fermeture est limitée par la présence du protecteur mobile D et de quatre protecteurs fixes (E, F1, F2 et F3). Ces protecteurs sont illustrés aux figures 13 et 14.

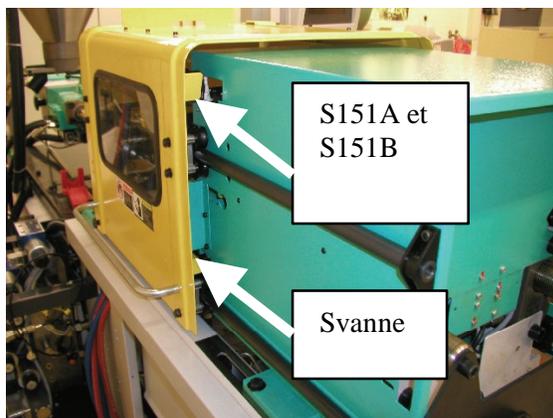


Figure 12 : Interrupteurs Svanne, S151A et S151B

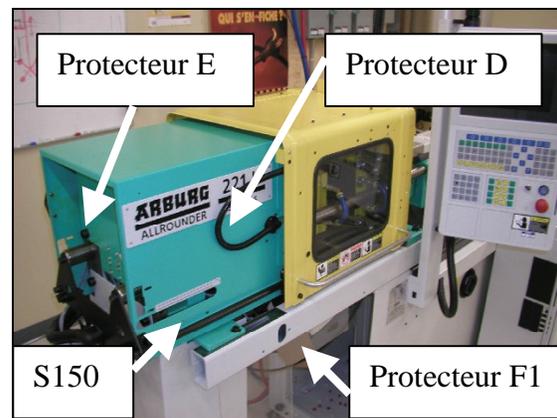


Figure 13 : Protecteurs D, E, F1 et interrupteur S150

Le protecteur D est un protecteur mobile verrouillé. Son système de verrouillage est composé de quatre interrupteurs de position (S151A, S151B, Svanne et S150) illustrés aux figures 12 et 13. Lors de l'ouverture du protecteur, tous ces interrupteurs sont actionnés. Bien entendu, l'actionnement des interrupteurs de position S151A, S151B et Svanne entraîne les mêmes conditions sécuritaires que celles décrites précédemment. Cependant, lors des essais fonctionnels, aucun effet de l'actionnement de l'interrupteur S150 sur les mouvements dangereux de l'équipement ou sur tout autre phénomène dangereux n'a pu être décelé.

Malgré la présence de tous les protecteurs présents autour de la zone dangereuse du mécanisme de fermeture, il demeure tout de même possible d'atteindre la zone dangereuse en y accédant par le dessous de l'équipement.

c) Zone dangereuse de la buse

La zone dangereuse de la buse est protégée par deux protecteurs. Il s'agit du protecteur mobile verrouillé G et du protecteur fixe H. Ceux-ci sont illustrés aux figures 15 et 16.

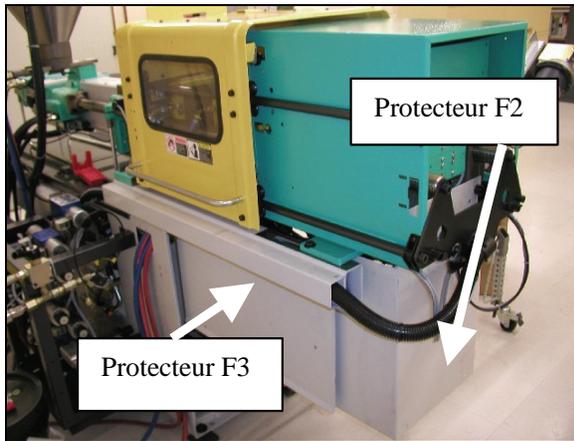


Figure 14 : Protecteurs F2 et F3

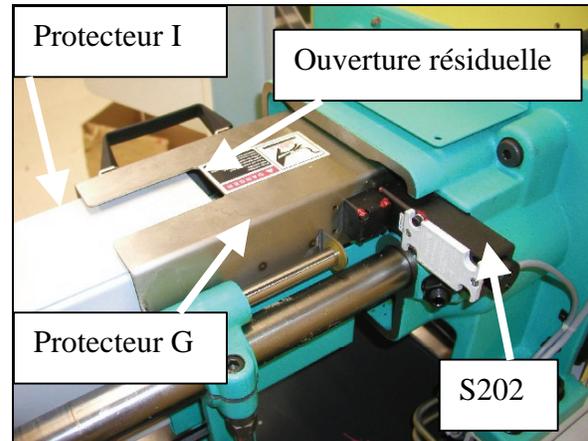


Figure 15 : Protecteur G, interrupteur S202 et ouverture résiduelle du protecteur G

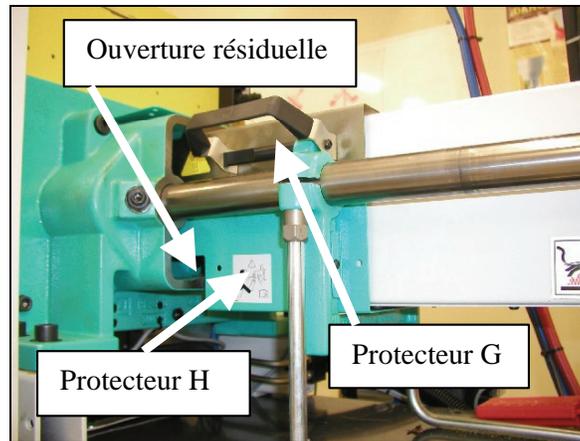


Figure 16 : Protecteurs G, H et ouverture résiduelle du protecteur H

Le système de verrouillage du protecteur G utilise un interrupteur à clé ou à languette S202 qui est illustré à la figure 15. Celui-ci est branché au sein du circuit de commande 1. L'ouverture du protecteur G entraîne la mise hors tension des distributeurs identifiés dans le tableau 5. Cette mise hors tension des distributeurs a pour conséquence d'arrêter les mouvements dangereux inscrits dans le tableau 5 et d'empêcher leur redémarrage tant et aussi longtemps que le protecteur demeure ouvert.

Il est important de mentionner que, malgré la présence des deux protecteurs, la zone dangereuse demeure tout de même accessible en raison d'une ouverture non protégée dans le bâti de la presse et de la présence d'une ouverture résiduelle entre le bâti de la presse et le protecteur H. Cette dernière ouverture est illustrée à la figure 16.

d) Zone de l'unité de plastification et d'injection

La zone dangereuse de l'unité de plastification et d'injection est protégée par le protecteur fixe I illustré à la figure 17. Bien que le protecteur empêche grandement l'accès à la zone dangereuse, il n'en demeure pas moins que des ouvertures résiduelles permettant d'atteindre la zone dangereuse existent, comme il est possible de le constater à la figure 17.

e) Zone de la vis

La zone de la vis est protégée par le protecteur mobile verrouillé J illustré à la figure 18. Le verrouillage est assuré par l'interrupteur de position S204 qui est intégré dans le circuit de commande 1. Lorsque le protecteur J est ouvert, cela a pour conséquence de mettre hors tension les distributeurs identifiés dans le tableau 5. Cette mise hors tension des distributeurs a pour conséquence d'arrêter les mouvements dangereux inscrits dans le tableau 5 et d'empêcher leur redémarrage tant et aussi longtemps que le protecteur demeure ouvert.

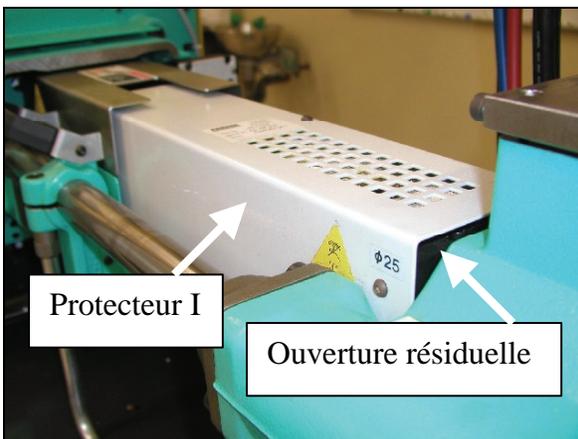


Figure 17 : Protecteur I et ouverture résiduelle

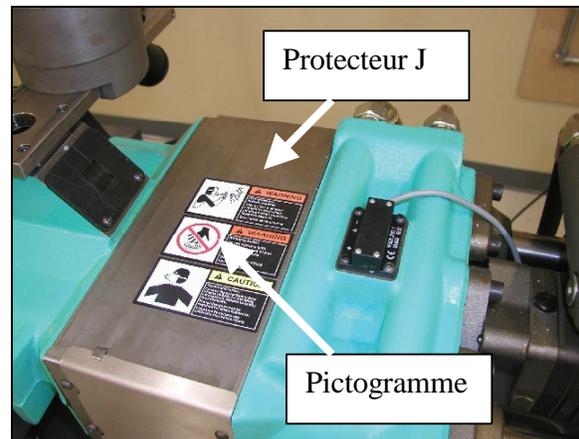


Figure 18 : Protecteur J et exemple de pictogramme affiché sur la presse

f) Composants électriques

De nombreux composants électriques sous tension sont situés dans trois armoires électriques fixées sur la presse. L'accès à ces composants est restreint sur chaque armoire en raison de la présence d'une porte fixée à l'aide de vis. Ces portes, jouant en quelque sorte le rôle d'un protecteur, sont illustrées aux figures 19 et 20. Fait à noter, pour ouvrir la porte K2, il est nécessaire d'ouvrir au préalable le sectionneur et ainsi couper l'alimentation en électricité des composants contenus dans l'armoire.

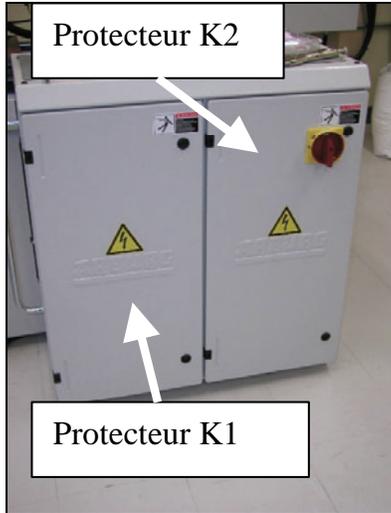


Figure 19 : Protecteurs K1 et K2



Figure 20 : Protecteur K3

5.1.11 Arrêt d'urgence et pictogrammes

En plus de ces moyens de protection, la presse dispose d'un bouton d'arrêt d'urgence illustré à la figure 10 ainsi que de nombreux pictogrammes (voir un exemple à la figure 18) placés près des zones dangereuses de la presse. L'arrêt d'urgence est intégré dans le circuit de commande 2. L'enclenchement de ce bouton entraîne l'arrêt du système de chauffage du cylindre de plastification et l'arrêt du moteur électrique couplé à la pompe hydraulique de la presse. Cependant, lors des essais fonctionnels, les chercheurs n'ont remarqué aucun effet sur la vanne de sécurité de l'équipement (la vanne demeurait en position ouverte, permettant un mouvement de fermeture de moule à condition que la vanne de fermeture du moule soit aussi ouverte).

5.1.12 Circuits de commande relatifs à la sécurité et composants choisis et utilisés selon des principes de sécurité reconnus

Pour réaliser les fonctions de sécurité, la presse comporte plusieurs composants aux caractéristiques particulières jouant un rôle crucial. Ceux-ci sont réunis au sein de quatre circuits de commande relatifs à la sécurité. Voici donc quelques informations concernant ces circuits de commande et quelques-uns de leurs composants.

a) Circuits de commande relatifs à la sécurité

Parmi ces quatre circuits, on remarque que les circuits 1 à 3 ont les caractéristiques suivantes :

- ils sont indépendants du circuit de commande opérationnelle et servent spécifiquement au bon fonctionnement des mesures de protection; et
- ils sont conçus à partir d'une logique câblée.

Ces caractéristiques permettent de réduire la probabilité que les fonctions de sécurité associées à ces circuits fassent l'objet de défaillances indésirables mettant en péril la sécurité du personnel.

Le circuit 4 de la presse regroupe les composants du dispositif de blocage mécanique du plateau mobile et les composants des systèmes de surveillance du dispositif de blocage et de la température des éléments chauffants de la presse. Ce circuit ne possède pas les caractéristiques mentionnées précédemment. Effectivement, les fonctions de sécurité associées à ce circuit sont plutôt contrôlées par l'intermédiaire du système programmable de la presse. Étant donné que des détails sur le fonctionnement du circuit 4 et sur le logiciel gérant ces fonctions ne sont pas disponibles, il n'est pas possible de conclure sur la robustesse du circuit de commande par rapport aux défauts qui peuvent y survenir.

b) Interrupteurs

Les interrupteurs liés aux protecteurs de la machine sont des interrupteurs de sécurité à ouverture forcée des contacts. Certains sont des interrupteurs de position, d'autres sont à clé. Ceux-ci sont installés selon le principe de l'actionnement mécanique positif et sont fixés solidement à l'équipement.

c) Relais de sécurité à contacts guidés

Les circuits de commande relatifs à la sécurité de la presse qui sont conçus selon une logique câblée comportent des relais de sécurité à contacts guidés. Leur intégration dans les circuits de commande permet d'assurer la détection d'une défaillance d'un des contacts d'un relais, comme par exemple le soudage d'un contact. Conséquemment, leur utilisation permet de réduire la probabilité de dysfonctionnement d'une fonction de sécurité de la presse.

d) Filtres hydrauliques

Les polluants solides peuvent causer des pannes ou des défaillances des composants hydrauliques. Conséquemment, cela peut affecter les fonctions de sécurité du système de commande hydraulique, comme par exemple empêcher les distributeurs de se fermer complètement. Pour réduire la probabilité que surviennent de telles défaillances, deux filtres ont été intégrés dans le circuit hydraulique de la presse. Un premier filtre est localisé à l'entrée de la pompe et un deuxième est placé juste avant l'arrivée au réservoir (au retour du circuit). Ce dernier est très efficace, car il reçoit tout le débit de l'installation, y compris la pollution générée par la pompe et les pollutions extérieures introduites par les vérins lors du coulisement de leur piston.

e) Distributeurs

Les distributeurs intégrés dans le circuit hydraulique possèdent plusieurs caractéristiques techniques intéressantes en lien avec la sécurité. Trois de ces caractéristiques sont présentés ici.

Tout d'abord, les distributeurs hydrauliques sont surdimensionnés, car bien que la pression maximale atteinte dans le circuit hydraulique soit de 260 bars, les distributeurs ont une pression de service maximale de 315 bars. De plus, malgré le fait que le débit maximal généré par la pompe soit de 40,6 L/min., les distributeurs peuvent admettre un débit de 50 L/min. lorsque leur pression de service maximale est atteinte.

Par ailleurs, les distributeurs PM, EJ et TV (voir le tableau 5), ayant pour rôle d'aiguiller le fluide vers les vérins et le moteur hydrauliques, sont à centre fermé et reviennent à leur position de repos sous l'effet de ressorts de rappel. Cette position de repos à recouvrement positif correspond à une commande d'arrêt obtenue par une absence de tension électrique. Une défaillance d'un distributeur ne conduit donc pas à la perte de la fonction de sécurité. De plus, en position de repos, l'orifice des distributeurs côté pression est fermé, ou mis au réservoir. Il est important de souligner qu'en position de repos, les distributeurs ne présentent pas de fuites susceptibles de provoquer un mouvement dangereux. Par ailleurs, les distributeurs passent par leur position de repos au moins une fois à chaque cycle de la machine.

Finalement, deux distributeurs connectés en série sont situés en amont du vérin assurant la fermeture du moule. Il s'agit du distributeur PM et du distributeur VS qui, lui, agit en tant que vanne de sécurité. En effet, le positionnement du tiroir de ce dernier est surveillé par un capteur qui permet de faire en sorte que suite à un défaut de fonctionnement de cette vanne de sécurité, la presse ne peut pas réaliser un nouveau cycle de fermeture du moule.

f) Clapets anti-retour

Le vérin hydraulique de la genouillère assurant le mouvement du plateau mobile est placé verticalement et supporte une charge suspendue. Un clapet anti-retour est présent dans le circuit hydraulique de la genouillère afin d'empêcher la descente imprévue du mécanisme lors d'une intervention dans cette zone, notamment lors de la maintenance.

Des clapets pilotés doubles sont utilisés en aval du distributeur contrôlant les mouvements de la buse. Les clapets pilotés permettent de maintenir en position le piston du vérin actionnant la buse fixée à l'unité d'injection. En effet, lorsque le distributeur BU (voir le tableau 5) contrôlant les mouvements de la buse est placé en position centrale, les clapets se ferment et immobilisent le vérin dans cette position .

g) Flexibles hydrauliques

Afin de réduire la probabilité que survienne une fuite hydraulique en raison d'une usure prématurée d'un flexible hydraulique, le fabricant a positionné les flexibles de telle sorte que ceux-ci ne frottent pas sur des arêtes vives ou sur des surfaces susceptibles de les dégrader. De plus, les flexibles, dont un exemple est illustré à la figure 9, ont une longueur suffisante afin de réduire leur cintrage, torsion et traction, ce qui réduit également leur probabilité de défaillance.

5.1.13 Risque électrique

Afin de réduire la probabilité qu'une personne se fasse électriser au contact de la presse, le fabricant a mis en œuvre différents concepts. Par exemple, l'alimentation du circuit de commande de la presse est réalisé au moyen d'une tension de 24 V. De plus, avant de pouvoir ouvrir l'armoire électrique principale de la presse, il faut absolument avoir préalablement coupé l'alimentation électrique au moyen du sectionneur.

Par ailleurs, précisons que le fabricant de la presse indique que celle-ci est conforme à la norme EN 60204. Cette norme précise notamment les exigences à rencontrer pour réduire la probabilité que l'utilisation de l'équipement crée un incendie ou que survienne l'électrisation du personnel.

5.2 Faits saillants de l'analyse du risque

5.2.1 Phénomènes, situations et événements dangereux

Les résultats de l'analyse du risque réalisée sur la presse de l'IRSSST révèlent la présence de nombreuses zones dangereuses ainsi que de 30 phénomènes dangereux créant 63 situations dangereuses potentielles au cours desquelles 72 événements dangereux peuvent se produire et donc entraîner un dommage au personnel. Comme prévu initialement, la nature des phénomènes dangereux observés est très diversifiée : mécanique, thermique, chimique, électrique, contraintes biomécaniques et psychosociales.

Quant aux situations dangereuses et aux événements dangereux identifiés, on peut dégager certains résultats intéressants. Par exemple, pour chaque mouvement de la presse constituant un phénomène dangereux, il s'avère qu'on retrouve systématiquement les combinaisons de situation-événement dangereux #1 et #2 indiquées au tableau 6. D'autres combinaisons types se retrouvent dans notre analyse et elles sont présentées sous une forme générale au sein du tableau 6.

Tableau 6 : Formulations types pour plusieurs combinaisons de composantes du risque

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Numéro de la combinaison
Mouvement de l'élément X	Être situé à proximité de l'élément X pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire de l'élément X pendant le mouvement	#1
	Être situé dans la trajectoire de l'élément X pendant l'arrêt du mouvement	Démarrage intempestif du mouvement de l'élément X	#2
	Être situé à proximité de l'équipement durant son fonctionnement	Projection d'un débris provenant de l'élément X ou d'un objet laissé par inadvertance	#3
Déplacement manuel de l'élément X	Être situé à proximité de l'élément X pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire de l'élément X pendant le mouvement	#4
	Être situé dans la trajectoire de l'élément X pendant l'arrêt du mouvement	Déplacement intempestif du mouvement de l'élément X	#5
Haute température de l'élément X	Être situé à proximité de l'élément X à haute température	Entrer en contact avec l'élément X à haute température	#6

Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Numéro de la combinaison
	Entrer en contact avec l'élément X à la température de la pièce	Démarrage intempestif du système de chauffage de l'élément X	#7
Fluide sous pression et à haute température	Être situé dans la trajectoire de projection potentielle du fluide à haute température	Projection accidentelle du fluide à haute température	#8
	Être situé à proximité de l'orifice d'échappement du fluide à haute température pendant son écoulement	Entrer en contact avec le fluide à haute température	#9
	Être situé dans la trajectoire potentielle de l'écoulement du fluide à haute température pendant qu'il n'y a aucun écoulement	Écoulement intempestif du fluide à haute température	#10
	Être situé dans la trajectoire potentielle d'un tuyau flexible où circule le fluide sous pression et à haute température	Fouettement d'un tuyau flexible en cas de rupture accidentel du tuyau ou d'un raccord	#11
Force gravitationnelle	Être situé sur le plancher	Chute sur le plancher	#12
	Être situé en hauteur	Chute sur le plancher	#13
	Être situé dans la trajectoire potentielle de l'élément X situé en hauteur	Chute accidentelle de l'élément X	#14
	Manipuler l'élément X	Chute accidentelle de l'élément X	#15
	Être situé à proximité de l'équipement ou sur celui-ci	Renversement de l'équipement	#16
Surface dure de l'élément X	Être situé sous l'élément X	Se relever la tête	#17
Forme coupante ou piquante de l'élément X	Être situé à proximité de l'élément X	Entrer en contact avec la partie coupante ou piquante de l'élément X	#18

Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Numéro de la combinaison
	Manipuler l'élément X	Entrer en contact avec une partie coupante ou piquante de l'élément X	#19
Produit X	Être situé à proximité du produit X	Entrer en contact avec le produit X	#20
		Ingérer le produit X	#21
		Inhaler les vapeurs ou les fumées du produit X	#22
		Contact du produit X avec les yeux	#23
		Contact des poussières provenant du produit X avec les yeux	#24
Bonbonne du produit X en aérosol	Être situé à proximité de la bonbonne	Explosion de la bonbonne due à une augmentation de sa température	#25
Présence d'éléments combustibles au sein de l'équipement	Être situé à proximité de l'équipement	Incendie de l'équipement	#26
Électricité	Être situé à proximité de l'élément X normalement sous tension	Entrer en contact directement ou indirectement avec l'élément X normalement sous tension	#27
	Entrer en contact avec l'élément X alors qu'il n'est pas sous tension.	Mise sous tension intempestive de l'élément X.	#28
	Être situé à proximité de l'élément X anormalement sous tension	Entrer en contact directement ou indirectement avec l'élément X anormalement sous tension	#29
Air comprimé	Être situé dans la trajectoire potentielle de particules lors du soufflage avec la soufflette	Projection accidentelle de particules	#30

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Numéro de la combinaison
	Être situé à proximité de la soufflette d'air comprimé	Souffler de l'air comprimé dans un orifice du corps (narine, oreille, etc.)	#31
	Être situé dans la trajectoire potentielle du tuyau flexible d'air comprimé	Fouettement d'un tuyau suite à un bris de celui-ci ou suite au détachement de la soufflette ou d'un des raccords du tuyau flexible	#32

5.2.2 Dommages

L'étude a révélé que l'opération de la presse ainsi que le montage/démontage du moule met les travailleurs dans des situations dangereuses où ils sont susceptibles de subir toute une gamme de dommages allant des plus mineurs aux plus graves. Ainsi, les événements dangereux liés aux mouvements de la machine entraînent la plupart du temps des lésions graves (écrasement, fracture, etc.), tandis que les phénomènes dangereux d'origine chimique entraînent plus souvent des lésions bénignes lors de l'opération et du montage/démontage de la presse.

5.3 Recensement des mesures de réduction du risque

Bien que la presse compte de nombreux phénomènes, situations et événements dangereux pouvant occasionner des dommages importants, il s'avère que l'équipement dispose de plusieurs mesures de protection permettant de réduire le risque, notamment de nombreux protecteurs mobiles verrouillés. Cependant, plusieurs de ces protecteurs n'empêchent pas totalement l'accès aux zones dangereuses.

Par exemple, une ouverture pratiquée dans le bâti de la presse permet d'entrer dans la zone dangereuse de la buse. De plus, la présence de l'ouverture résiduelle illustrée à la figure 16 se trouvant entre le bâti de la presse et le protecteur H permet également d'atteindre la zone dangereuse de la buse. Il s'avère même que la présence du protecteur G crée une zone dangereuse accessible durant le fonctionnement de la presse (voir la figure 15). Finalement, il faut savoir que les protecteurs A, B, C, D, E, F1, F2 et F3 n'empêchent pas l'accès, par le dessous de la machine, aux zones dangereuses liées au moule et au mécanisme de fermeture.

D'autre part, il demeure évident que les concepteurs de la presse ont intégré plusieurs recommandations de la norme ISO 13849-2 :2003. Il s'agit notamment de principes de sécurité de base, de principes de sécurité éprouvés et de composants éprouvés. Voici d'ailleurs quelques-uns des exemples observés sur la machine.

5.3.1 Principes de sécurité de base

Cette étude a révélé que la presse intégrait de nombreux principes de sécurité de base. Par exemple, les distributeurs hydrauliques remplissaient leur fonction de sécurité lors d'une désactivation énergétique. D'autre part, le circuit hydraulique de la presse est doté de systèmes permettant de maintenir la pression et la température de l'huile dans la plage de fonctionnement désirée. De plus, les flexibles hydrauliques ont été dimensionnés et installés de façon à réduire leur usure et les contraintes auxquelles ils sont soumis, tel que recommandé dans la norme ISO 4413 Transmissions hydrauliques - Règles générales relatives aux systèmes, dans le but de réduire la probabilité que survienne une fuite dans le circuit hydraulique. Par ailleurs, la fixation solide et un alignement adéquat des interrupteurs de sécurité constitue un autre exemple probant d'application de principes de base en sécurité des machines. En bout de ligne, l'emploi de tels principes est avantageux, car ils permettent de réduire l'apparition des défauts dans les circuits de commande relatifs à la sécurité. La probabilité de défaillance des fonctions de sécurité de l'équipement en est ainsi réduite.

5.3.2 Principes de sécurité éprouvés

Par ailleurs, l'étude a aussi révélé que la presse mettait également en œuvre des principes de sécurité éprouvés permettant aussi de réduire la probabilité de défaillance des fonctions de sécurité. Par exemple, la plupart des mesures de protection sont intégrées au sein de trois circuits de commande indépendants du système de commande fonctionnel qui est basé sur l'électronique programmable. En effet, les circuits de commande relatifs à la sécurité sont conçus selon une logique câblée. Ensuite, l'utilisation de distributeurs hydrauliques surdimensionnés en plus de filtres performants constitue d'autres exemples évidents d'application des principes de sécurité éprouvés. Il en va de même de l'installation d'interrupteurs de sécurité selon le mode d'actionnement positif. Finalement, l'intégration de distributeurs hydrauliques à recouvrement positif illustre aussi le principe de sécurité éprouvé, car cela assure un blocage étanche des orifices des distributeurs, empêchant ainsi les mouvements indésirables des actionneurs hydrauliques causés par une fuite dans un distributeur.

5.3.3 Composants éprouvés

Finalement, la presse comporte des composants éprouvés tels que des relais de sécurité à contacts guidés et des interrupteurs de position de sécurité à ouverture forcée des contacts. L'emploi de composants éprouvés contribue également à réduire la probabilité que survienne une défaillance des fonctions de sécurité de la presse.

6. DISCUSSION

6.1 Analyse du risque

6.1.1 *Transposition des résultats pour un autre équipement*

Les résultats de l'analyse du risque réalisée sur la presse à injection automatisée de l'IRSSST doivent être utilisés avec prudence. En effet, ces résultats sont propres à la presse de l'IRSSST et sont tributaires des limites et hypothèses fixées dans le cadre de l'analyse, mais aussi des informations contenues dans les fiches signalétiques des produits utilisés. Cependant, ils constituent un exemple d'analyse de risque sur une presse basé sur la norme ISO 14121 :1999. Avant de transposer cette analyse à d'autres presses, il faudrait prendre en considération les spécificités de ces presses ainsi que leur contexte d'utilisation.

6.1.2 *Difficultés rencontrées*

Identification d'un événement dangereux pour les cas de maladie professionnelle

Par ailleurs, aucun événement dangereux n'a pu être associé au bruit généré par la presse et aux contraintes biomécaniques et psychosociales liées à l'opération de l'équipement. En effet, étant donné que c'est à long terme que l'exposition au bruit de la machine peut occasionner une perte auditive, les chercheurs n'ont pas pu cerner un événement dangereux qui déclenche cette maladie professionnelle. Le même problème se pose pour les contraintes biomécaniques et psychosociales qui peuvent engendrer des troubles musculosquelettiques, non pas subitement, mais suite à une certaine durée d'exposition à la situation dangereuse. Bref, lorsque le mécanisme menant à l'apparition du dommage est chronique plutôt qu'accidentel, le problème se pose systématiquement.

Ces deux exemples mettent en évidence les limites de la notion de risque telle que présentée dans la norme ISO 14121 :1999. Effectivement, selon cette norme, le risque est défini comme étant la «combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage». De plus, la norme précise que la probabilité d'occurrence du dommage est fonction notamment de la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux. Or, les chercheurs n'ont justement pas pu identifier d'événements dangereux pour les cas où un phénomène dangereux peut engendrer à long terme une maladie professionnelle.

Formulation d'une situation ou d'un événement dangereux

D'autre part, comme le montre le tableau 7, les chercheurs ont, à quelques reprises, hésité entre différentes façon d'exprimer une même situation dangereuse ou un même événement dangereux. Il semble très probable que le choix de ces expressions pourrait avoir une influence sur le résultat d'une éventuelle estimation du risque.

Tableau 7 : Expressions potentielles visant à décrire quelques situations et événements dangereux

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux
Huile hydraulique sous pression à haute température	Expression choisie : être situé à proximité de la presse	Entrer en contact avec l'huile répandue suite à une fuite provenant d'un composant (tuyau, raccord, etc.)
	Expression rejetée : être situé à proximité d'une fuite d'huile	
Mouvement de fermeture du plateau mobile	Être situé à proximité de la presse durant son fonctionnement	Expression choisie : projection d'un débris de moule mal monté ou d'un élément laissé dans le moule ou sur sa trajectoire
		Expression rejetée : projection, en direction d'un travailleur, d'un débris de moule mal monté ou d'un élément laissé dans le moule ou sur sa trajectoire
Éléments combustibles présents au sein de la presse (huile hydraulique, plastique, etc.)	Expression choisie : être situé à proximité de la presse	Expression choisie : incendie de la presse
	Expression rejetée : être situé à proximité de la presse durant un incendie	Expression rejetée : inhaler les fumées émanant de la presse
Pastilles de polyéthylène	Être situé à proximité de la presse à injection durant le chauffage des pastilles	Expression choisie : inhalation de vapeurs et de fumées émises lors du chauffage des pastilles
		Expression rejetée : émission de vapeurs et de fumées générées par le chauffage des pastilles

Estimation du risque

Dans le cadre de l'analyse du risque présentée dans ce rapport, la phase d'estimation du risque est absente, car bien que des informations pertinentes ont été recueillies lors des deux visites en usines, trop d'informations importantes pour mener à bien l'estimation du risque demeuraient manquantes.

6.2 Élaboration d'un outil d'évaluation de la sécurité

Pour terminer, un outil d'évaluation de la sécurité pour la presse à injection automatisée de l'IRSSST, et plus particulièrement en lien avec les systèmes de commande relatifs à la sécurité, n'a pas été entièrement développé. Une démarche plus globale est plutôt présentée pour évaluer la sécurité d'une presse à injection. Cette démarche se base néanmoins sur l'analyse de risque. Des moyens de réduction de risque identifiés sur la machine sont expliqués et devraient aider à illustrer la démarche de sécurisation d'une machine automatisée. Par ailleurs, un outil de diagnostic visant à relever d'éventuelles lacunes de sécurité à partir de plusieurs exigences de la norme ANSI/SPI B151.1-1997 a été élaboré. Cet outil est présenté à l'annexe H, mais nécessiterait d'être validé en milieu industriel avant d'être employé.

Ce changement d'orientation s'explique par le fait qu'un outil, inspiré des normes de conception des systèmes de commande relatifs à la sécurité telles que ISO 13849 ou CEI 62061, contiendrait des extraits de ces normes apparaissant sous forme de colonnes ou de rangés. Sous cette forme, cet outil ne serait pas très utile pour les utilisateurs, car ces normes préconisent plutôt le développement de dossiers techniques pour la validation des circuits de commande. Cette validation nécessite d'ailleurs des analyses poussées et détaillées de ces circuits. Ces dossiers techniques pourraient éventuellement être développés, mais nécessiterait la collaboration étroite du fabricant de la presse. En effet, le fabricant est le seul à détenir plusieurs informations essentielles sur le système de commande relié à la sécurité de la machine.

Bien qu'un tel outil d'évaluation de la sécurité du système de commande de la presse ne soit pas proposé ici, l'annexe I présente tout de même à titre de référence plusieurs informations pertinentes extraites des normes ISO 13849-1 :1999 et ISO 13849-2 :2003.

7. CONCLUSION

Cette étude exploratoire sur la sécurité des machines commandées par des automates programmables industriels a d'abord mis en évidence quelques éléments contribuant aux accidents liés à des machines automatisées en s'appuyant sur des résumés de rapports d'enquête d'accident de la CSST et des études de l'INRS [2,3]. Ensuite, une description de la mise en œuvre de la démarche d'analyse du risque telle que préconisée par la norme ISO 14121 :1999 est décrite dans ce rapport afin de dresser un portrait des enjeux de santé et de sécurité sur une machine automatisée, en l'occurrence, la presse à injection de plastique de l'IRSSST.

Les tâches réalisées par le personnel sur deux presses à injection de plastique automatisée présentes dans deux entreprises ont été documentées. De plus, différents documents du fabricant de la presse de l'IRSSST ont été consultés afin de se familiariser davantage avec l'équipement. Deux normes sur la sécurité des presses à injection ont aussi été consultées.

Un recensement des différentes mesures de réduction du risque présentes sur la presse de l'IRSSST a été effectué et différentes caractéristiques des circuits de commande hydraulique et électriques de la presse en lien avec la sécurité du personnel ont été identifiées. Finalement, plusieurs exigences de la norme ANSI/SPI B151.1-1997 ont été synthétisées au sein d'une grille afin de faciliter l'évaluation de la sécurité de la presse à injection de plastique de l'IRSSST.

Retombées éventuelles

L'analyse du risque, inspirée de ISO 14121, qui est présentée dans ce rapport peut servir de modèle aux entreprises où se trouvent des presses à injection de plastique automatisées. Par ailleurs, les résultats de cette analyse et la grille d'évaluation de la sécurité de la presse de l'IRSSST, bien que spécifiques à la presse de l'IRSSST, constituent certainement un point de départ fort utile à toute personne qui désire analyser le risque sur une presse à injection en vue d'en évaluer la sécurité, mais également en vue de la sécuriser. Les résultats de l'analyse pourraient aussi fort bien être utilisés pour bonifier toute formation donnée au personnel oeuvrant sur ces machines.

D'autre part, la synthèse sur l'appréciation et la réduction du risque, ainsi que les résultats d'analyse du risque obtenus, mais également les formulations types des composantes du risque qui ont été extraites de l'analyse, pourraient aider toute personne désireuse de réaliser des analyses de risque sur des machines diverses. Bien entendu, les formateurs en analyse du risque pourraient également utiliser les résultats de cette recherche en vue d'enrichir leur formation.

Finalement, les explications contenues dans ce rapport concernant les mesures de réduction du risque présentes sur la presse de l'IRSSST devraient aider à clarifier quelques notions apparaissant dans les normes ISO 13849-1 :1999 et ISO 13849-2 :2003.

8. RÉFÉRENCES

- [1] COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. L'état de situation : répartition des accidents acceptés pour l'agent causal « machinerie et outillage mécanique » selon la nature de l'accident, nombre avec débours, montant de débours et moyenne par accident de 1999 à 2003, D.C.G.I., Service de la statistique. 2004, 4 p.
- [2] DEI SVALDI, D. et P. CHARPENTIER. «Une étude des accidents en automatisme à partir de la base de données EPICEA», Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires, n° 196, 3^e trimestre, 2004, ND 2216 p. 53-73.
- [3] DEI SVALDI, D. «Accidents du travail sur sites automatisés - Évaluation d'une prévention technique.», Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires, n° 136, 3^e trimestre, 1989, ND 174, p. 445-453
- [4] LE CENTRE DE DÉVELOPPEMENT DE L'INFORMATION SCOLAIRE ET PROFESSIONNELLE (CDISEP). Les carrières de la Plasturgie, Fiche n° 10, Les éditions Jobboom, <http://www.macarriere.qc.ca/plasturgie>, 2001, 6 p.
- [5] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1: Terminologie de base, méthodologie*, Genève, ISO, 2003, 35 p. (Norme internationale ISO 12100-1 :2003)
- [6] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque*, Genève, ISO, 1999, 20 p. (Norme internationale ISO 14121 :1999)
- [7] PAQUES, Joseph-Jean et autres, *Sécurité des machines : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommage*, Montréal, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST) et Institut de recherche Robert-Sauvé
- [8] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 2: Principes techniques*, Genève, ISO, 35 p. (Norme internationale ISO 12100-2 :2003)
- [9] COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. Centre de documentation, <http://www.centredoc.csst.qc.ca>, 2007
- [10] CAISSE RÉGIONALE D'ASSURANCE MALADIE D'ÎLE-DE-FRANCE. Guide de prévention du risque chimique - De l'évaluation des risques chimiques à la mise en oeuvre des mesures de prévention, DTE 175, Paris, CRAMIF, 2003, 33 p.
- [11] DEI SVALDI, D. et M. KNEPPERT. Gestion des fonctions de sécurité par automate programmable dédié à la sécurité (APIs), Coll. Notes scientifiques et techniques de l'INRS, 224, Paris, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 2002, 24 p.

- [12] MARSOT, J. et autres. Sécurité des machines et des équipements de travail. Circuits de commande et de puissance. Principes d'intégration des exigences de sécurité. ED 913, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Paris, 2003, 35 p. en santé et en sécurité du travail (IRSST), 2004, 11 p. Références
- [13] PAQUES, Joseph-Jean. *Règles sommaires de sécurité pour l'utilisation des automates programmables industriels (API)*, Rapport B-028, Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 1991, 19 p.
- [14] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. for Plastics Machinery- Horizontal Injection Molding Machines- Safety Requirements for Manufacture, Care, and Use, New York, ANSI, 1997, 24 p. (Norme américaine ANSI/SPI B151.1-1997)
- [15] ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Protection des machines*, Mississauga, CSA, 2004, 174 p. (Norme canadienne CSA Z432-04)
- [16] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. Machines pour le caoutchouc et les matières plastiques – Machines à injection – Prescriptions de sécurité, Bruxelles, CEN, 1997, 44 p. (Norme européenne EN 201 :1997)
- [17] COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE. *Automates programmables - Partie 1 - Informations générales*, Genève, CEI, 1992, 24 p. (Norme internationale CEI 61131-1)
- [18] COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE. Sécurité des machines – Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité, Genève, CEI, 2005 (Norme internationale CEI 62061 :2005)
- [19] *Formation de base en injection*, Plastiforce, 2006, 92 diapositives PowerPoint.
- [20] *Lockout/Tagout for Injection Molding Control of Hazardous Energy*, The Society of the Plastics Industry (SPI) et Occupational Safety and Health Administration (OSHA), <http://www.plasticsindustry.org/public/worksafe/alliance.htm>, 2007, 37 diapositives PowerPoint.
- [21] *Machine Safety for Injection Molding machines*, The Society of the Plastics Industry (SPI) et Occupational Safety and Health Administration (OSHA), <http://www.plasticsindustry.org/public/worksafe/alliance.htm>, 2007, 50 diapositives PowerPoint
- [22] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*, Genève, ISO, 1999, 10 p. (Norme internationale ISO Guide 51:1999)[23] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. Sécurité des machines — Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité — Partie 1: Principes généraux de conception, Genève, ISO, 1999, 33 p. (Norme internationale ISO 13849-1 :1999)

- [24] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatifs à la sécurité - Partie 2 : validation*, Genève, ISO, 2003, 57 p. (Norme internationale ISO 13849-2 :2003)
- [25] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Transmissions hydrauliques – Règles relatives aux systèmes*, Genève, ISO, 1998, 59 p. (Norme internationale ISO 4413 :1998)

ANNEXE A : SÉCURITÉ DES SYSTÈMES COMMANDÉS PAR DES API

A.1 Introduction à la sécurité des systèmes commandés par des API

Un automate programmable, aussi connu comme automate programmable industriel (API) est défini par la norme CEI 61131-1 comme étant :

« un système électronique fonctionnant de manière numérique, destiné à être utilisé dans un environnement industriel qui utilise une mémoire programmable pour le stockage interne des instructions orientées utilisateur aux fins de mise en œuvre de fonctions spécifiques, telles que des fonctions de logique, de mise en séquence, de temporisation, de comptage et de calcul arithmétique, pour commander au moyen d'entrées et de sorties tout-ou-rien ou analogiques divers types de machines ou de processus ».

Par ailleurs, un automate programmable standard n'est pas conçu pour gérer des fonctions de sécurité. En effet, l'INRS recommande de ne pas faire confiance au seul API pour assurer la gestion des fonctions de sécurité [12]. Une défaillance de l'API peut engendrer un mouvement dangereux conduisant à un accident. Ce comportement est dû au fait qu'un API standard n'a pas été conçu pour détecter toutes ses défaillances internes et adopter une position de repli en sécurité lorsque celles-ci se produisent. Donc, une logique câblée extérieure à la commande gérée par l'API (commande du processus) est préférable afin qu'il n'existe pas de liaison directe entre une commande intempestive provenant de l'API et le mouvement dangereux. Un circuit à base de logique câblée agirait en priorité soit directement sur la puissance, soit sur l'API en coupant l'alimentation des cartes de sortie [13]. L'IRSSST a aussi produit un document suggérant des règles de sécurité pour l'utilisation des API [13]. En résumé, les risques spécifiques des API sont les suivants :

- Les programmes qui peuvent initialement être bien élaborés, peuvent être malencontreusement modifiés par un intervenant imprudent ou mal informé. Cette modification du programme initial peut être rendue nécessaire par l'évolution du système automatisé. Des modifications de programme sans aucune documentation, surtout des programmes gérant des fonctions de sécurité sont dangereuses.
- L'API demeure un appareil électronique et prévoir les modes de défaillances en cas d'incident, notamment sous l'effet d'influences externes (ex. température, poussière, humidité, vibrations, parasites électromagnétiques ou électrostatiques) est difficile.
- L'API possède une unité centrale et un système de traitement à canal unique et peut avoir un mode commun de défaillance. L'architecture interne de l'API n'a pas été conçue pour gérer des fonctions de sécurité. Cependant, la fiabilité globale d'un automate programmable dépend surtout du nombre et de la fiabilité de ses cartes d'entrée/sortie. Dans un ensemble automatisé, 90 à 95% des défauts matériels sont extérieurs à l'automate et proviennent avant tout des capteurs et de leurs liaisons, des actionneurs et pré-actionneurs et de leurs liaisons. Néanmoins, même si les processeurs des API actuels ont atteint des taux de défaillances particulièrement bas, il n'est généralement pas recommandé d'utiliser un API standard pour gérer des fonctions de sécurité sur les systèmes automatisés.

ANNEXE B : ACCIDENTS IMPLIQUANT DES MACHINES AUTOMATISÉES

B.1 Survol de quelques exemples d'accidents impliquant des machines automatisées répertoriés au Québec durant la période 2002-2005 [9]

2005

En octobre 2005, dans une usine de fabrication de produits de terrassement en béton, un travailleur est décédé suite à un accident impliquant le grappin d'un palettiseur automatisé. Le travailleur a été écrasé mortellement par le grappin alors qu'il s'est rendu sous ce grappin pour replacer des pavés sur une planche. Une rangée de pavés avait glissé d'une planche à l'autre suite à un tamponnage. La CSST a retenu plusieurs causes pour expliquer cet accident, notamment (i) un levier de détection de planche du convoyeur alimentant la palettiseur était resté coincé et le travailleur l'a abaissé, ce qui a envoyé le signal à l'API pour la descente du grappin, (ii) le système à faisceau optique protégeant l'accès à la zone dangereuse a été neutralisé, (iii) une méthode de travail dangereuse est utilisée pour retirer une rangée de pavés sur une planche positionnée sous le grappin et (iv) le travailleur manquait de formation sur les dangers auxquels il était exposé.

2004

De plus, les données de la CSST indiquent qu'en 2004 il s'est produit trois événements tragiques impliquant des machines automatisées à l'aide d'API. Le premier cas survient en septembre 2004, dans une usine où s'effectue de l'ensachage de tourbe. Un superviseur décède des suites de ses blessures lorsque sa tête est écrasée entre un tube de remplissage de tourbe d'un ensacheur automatique et le protecteur de forme rectangulaire de l'équipement à sceller les sacs. Selon la CSST, l'accident s'explique notamment parce que les zones dangereuses de l'ensacheur sont accessibles, mais aussi en raison de l'orientation des commandes de l'automate programmable qui empêche l'opérateur de l'ensacheur de s'assurer qu'aucune personne n'est présente dans les zones de coincement de ce dernier au moment de son démarrage.

Le deuxième cas répertorié est le décès, en mai 2004, d'une travailleuse dans une entreprise se spécialisant dans la fabrication de lattes de planchers en bois dur. La travailleuse exécutait sa tâche près d'un convoyeur dont le déplacement vertical était commandé par un automate programmable. Au moment où elle tenta de ramasser une latte de bois tombée du convoyeur, ce dernier est descendu et lui coinça la tête. Elle est décédée des suites de ses blessures.

Un troisième accident s'est produit en juin de la même année. Travaillant dans une usine de pâtes et papiers, un mécanicien terminait la réparation d'un butoir contrôlé par un automate programmable. Au moment où il remettait en fonction le système pneumatique en ouvrant une valve située derrière le butoir, ce dernier s'est rétracté. Le mécanicien s'est fait coincé aux niveau des épaules et a subi des blessures graves.

2003

En 2003, deux accidents mortels surviennent sur des machines où sont intégrés des API. Le premier accident survient en janvier 2003 sur une machine automatisée dans une scierie. Un travailleur s'est trouvé coincé entre la fourche de l'élévateur d'une ligne d'empilage automatique de bois et le support d'un convoyeur. La CSST a relevé que les fournisseurs de services d'automatisation avaient négligé la sécurité des travailleurs, notamment en ce qui concerne l'accès à une zone dangereuse de la machine. La CSST a souligné que lors de la conception et de l'aménagement de la ligne d'empilage automatique de bois, le fournisseur avait négligé de faire une bonne appréciation du risque.

L'autre accident impliquant une machine automatisée s'est produit en mai 2003. Un technicien qui travaillait dans une usine fabriquant des mousses synthétiques moulées pour produire des sièges de véhicules, s'est fait tuer par un robot industriel. L'accident s'est produit pendant la période de rodage d'un nouveau carrousel, c'est-à-dire une chaîne de production contrôlée par un automate programmable. Le technicien effectuait des travaux de programmation et de mise au point du carrousel. Il devait faire des ajustements sur un moule d'une station de carrousel et quand il s'est penché sur le moule, l'appareil de levage qui ouvrait le moule s'est remis en marche accidentellement. Le technicien, qui était coincé entre le moule et la structure supérieure du carrousel, succomba suite à ses blessures.

2002

Enfin, en mars 2002, un accident mortel est survenu sur une ferme laitière au Québec. Un travailleur agricole se retrouva coincé dans un mélangeur d'aliments automatisé. Le mélangeur d'aliments pour vaches est une machine programmable qui mélange la nourriture qu'un convoyeur distribue ensuite dans les différentes sections de l'étable. Le travailleur s'est introduit dans l'ouverture d'évacuation du mélangeur pour en retirer le foin qui n'a pas été évacué. À cet instant, la porte motorisée de l'ouverture était encore contrôlée par l'automate et elle se referma sur le travailleur. Ce dernier s'est fait coincer au niveau de la poitrine et succomba.

Conclusion

En résumé, la CSST explique ces accidents par un ou plusieurs des éléments suivants :

- les zones dangereuses de ces machines étaient accessibles, alors que les machines étaient en mode automatique;
- les machines demeuraient sous le contrôle des automates programmables industriels lors des interventions;
- l'emplacement des commandes de l'équipement n'assurait pas une visibilité complète des zones dangereuses de la machine;
- la procédure de cadenassage était inappliquée; et
- la formation des travailleurs était insuffisante.

B.2 Étude de l'INRS sur les accidents en lien avec les systèmes automatisés

Compte tenu de l'envergure de la problématique associée aux accidents liés à l'automatisation mis en évidence dans l'étude [4] de l'INRS réalisée en 1989, une deuxième étude [3] de l'INRS, se basant sur la base de données EPICEA, a été publiée en 2004. L'étude visait à déterminer l'incidence de l'automatisation sur les accidents du travail. En utilisant un échantillon plus grand, c'est-à-dire 457 cas d'accidents, et des critères d'analyse différents, l'étude a permis de caractériser les entreprises concernées par les accidents, les victimes affectées par les accidents, les types de lésions, l'activité des victimes, les facteurs matériels ayant conduit aux accidents, les protections mises en œuvre sur les installations et les mesures de prévention. Voici quelques faits saillants de cette étude.

Secteurs concernés

Les neuf secteurs où se sont produits le plus grand nombre d'accidents liés à l'automatisation sont :

- 1) Travail des métaux (57 accidents);
- 2) Industrie alimentaire (51 accidents);
- 3) Fabrication de produits minéraux non métalliques (49 accidents);
- 4) Industrie du caoutchouc et des plastiques (48 accidents);
- 5) Fabrication de machines, d'équipements, et d'appareils électriques (39 accidents);
- 6) Industrie automobile (39 accidents);
- 7) Industrie du bois, papier, carton (27 accidents);
- 8) Industrie du textile, de l'habillement, du cuir (23 accidents);
- 9) Métallurgie (23 accidents).

Équipements concernés

Plus du tiers des accidents liés à l'automatisation ont eu lieu sur des presses, des laminoirs et des presses à injecter.

Gravité des dommages et nature de la lésion

Dans 16% des cas, les accidents survenus sur une machine automatisée ont entraîné le décès du travailleur. Tandis que les amputations et les fractures constituaient respectivement 27% et 28% des lésions attribuables aux équipements automatisés.

Siège de la lésion

Dans plus de la moitié des cas d'accidents ayant impliqué une machine automatisée, les lésions sont survenues aux mains.

Activité réalisée par le travailleur au moment de l'accident

- Dans 70% des cas, le travailleur accidenté réalisait une tâche habituelle.
- Dans 85% des accidents, la victime travaillait seule.
- Dans 36% des cas, la victime de l'accident utilisait la machine, alors que dans 42% des cas d'accidents, la victime réalisait une activité complémentaire à la production comme par exemple le réglage, la surveillance, la réparation, le nettoyage, le contrôle ou des essais.

Cause de l'accident

Le fonctionnement intempestif de l'automatisme a causé 20% des accidents.

Expérience du travailleur au poste de travail

Les travailleurs avaient, dans 73% des cas d'accidents d'automatisme, plus de trois mois d'expérience avec la machine où est survenu l'accident.

Protection présente sur l'équipement lors de l'accident

Dans 45 % des cas, des protecteurs collectifs étaient utilisés sur la machine, dans 20% des cas des dispositifs de protection étaient présents sur la machine et, finalement, 32% des cas d'accidents sont survenus en l'absence de protection.

Malgré la présence de protecteurs, plusieurs accidents sont survenus parce que ces protecteurs étaient neutralisés ou hors service ou encore mal conçus ou mal installés.

Prévention

Afin d'améliorer la sécurité des travailleurs dans les environnements automatisés, l'étude de l'INRS [3] propose que tous les modes de fonctionnement (automatique, semi-automatique, réglage, manuel, dégradé etc.) soient pris en considération lors de la conception des équipements et que des analyses du risque soient réalisées pour permettre des interventions sécuritaires en cas d'incident de production. De plus, l'étude suggère que les moyens de réduction de risque appropriés soient adoptés tout en prévoyant les différentes configurations possibles de travail. Finalement, l'étude mentionne qu'il est important que les travailleurs reçoivent la formation nécessaire et soient sensibilisés aux risques.

ANNEXE C : EXEMPLES DE PHÉNOMÈNES, SITUATIONS ET ÉVÉNEMENTS DANGEREUX

C.1 Phénomènes dangereux

Le phénomène dangereux est une source potentielle de dommage et peut être d'ordre mécanique, thermique, chimique, électrique, etc. [6,7]. Voici quelques exemples:

- Phénomènes dangereux mécaniques : des angles rentrants (rouleaux, convoyeurs etc.), des formes dangereuses (tranchante, pointue etc.), des pièces et outils en mouvement.
- Phénomènes dangereux d'origine électrique : parties normalement sous tension, parties devenues accidentellement sous tension.
- Phénomènes dangereux d'origine thermique : objets ou matériaux à température extrême, flammes, explosions, rayonnement de source de chaleur.
- Phénomène dangereux chimiques : fluides, gaz, fumées et poussières ayant un effet nocif.

C.2 Situations dangereuses

Une situation dangereuse résulte de l'exposition d'une personne à un phénomène dangereux. Voici quelques exemples :

- Possibilité d'entrer en contact avec une forme dangereuse.
- Possibilité de bris de pièces de machine ou d'entrer en contact avec des zones de happement, enroulement, entraînement.
- Travail en hauteur, en dessous une charge, sur un plancher glissant.

C.3 Événements dangereux

Un événement dangereux est un événement qui peut engendrer un dommage. Voici quelques exemples :

- Événements associés aux phénomènes dangereux mécaniques : ruptures ou défaillance d'un organe mécanique, chute d'un composant, éjection de pièce, mise en marche intempestive, survitesse/ralentissement inattendu, chute du travailleur.
- Événements associés aux phénomènes dangereux électriques; entrée en contact avec un élément sous tension, défaillance ayant pour effet de mettre sous tension des éléments de la machine.
- Événement associés aux phénomènes dangereux thermiques : entrée en contact avec des objets à des températures extrêmes.

ANNEXE D : OUTIL D'ESTIMATION DU RISQUE PROPOSÉ PAR LA CSST ET L'IRSST

Un outil proposé par la CSST et l'IRSST [8] est présenté à la figure D.1. Cet outil utilise quatre paramètres en vue d'obtenir un indice de risque. Il s'agit de (i) la gravité du dommage, (ii) la fréquence et/ou la durée d'exposition au phénomène dangereux, (iii) la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux et (iv) la possibilité d'évitement du dommage.

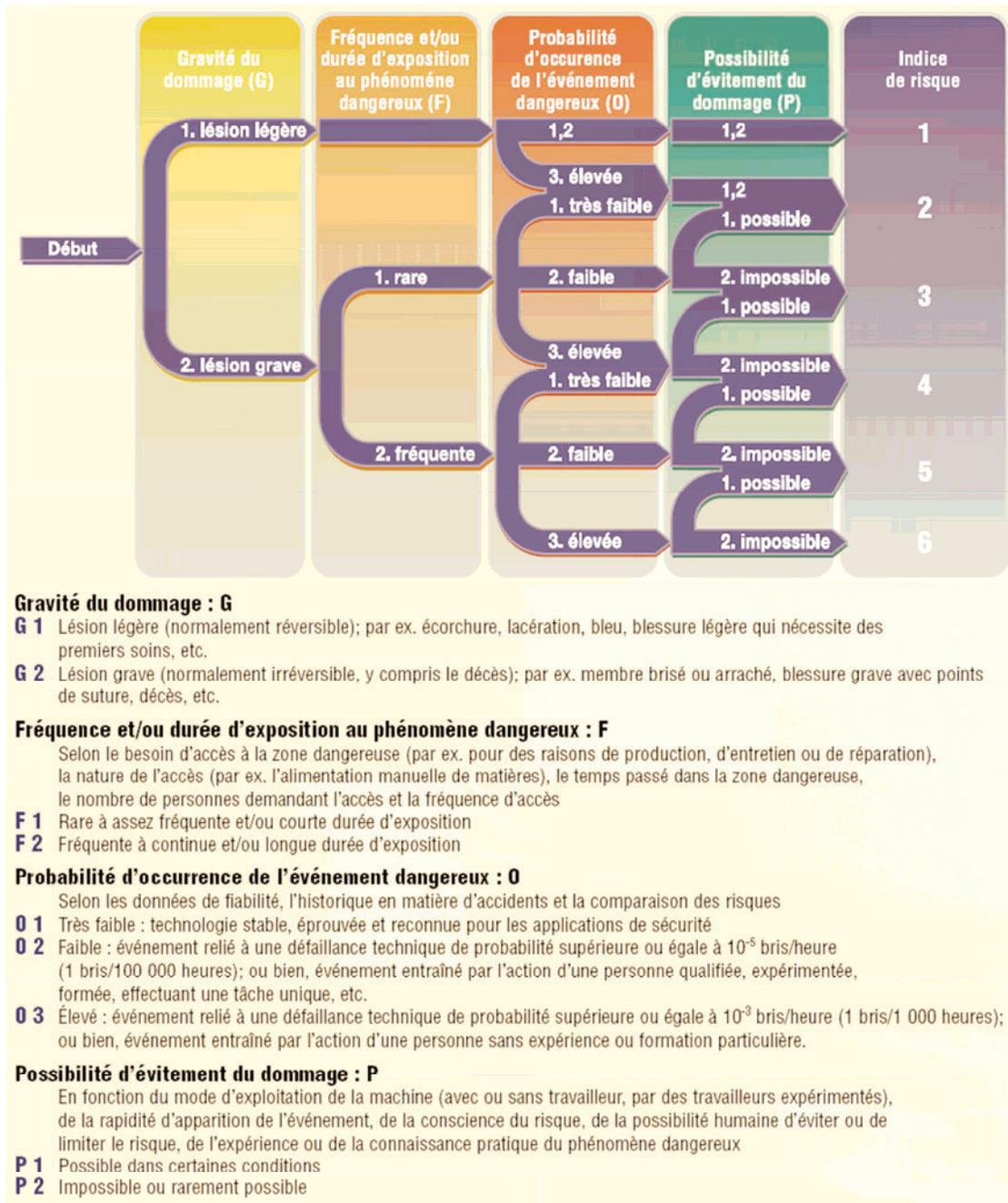


Figure D.1 : Outil d'estimation du risque tiré de [8]

ANNEXE E : ACCIDENTS SUR LES PRESSES À INJECTION AUTOMATISÉES

Les presses à injection de plastique sont des équipements dangereux qui font l'objet d'accidents souvent graves et impliquant différents phénomènes dangereux. À titre d'exemples, voici quelques résumés d'accidents survenus au Québec et ayant fait l'objet de rapports de la CSST.

E.1 Fermeture du moule

En 1984, « un chef d'équipe est à vérifier une presse à injection qui s'est arrêtée. Il ouvre la cage protectrice pour déloger des morceaux de plastique collés dans les canaux d'injection du moule. C'est alors que le moule se referme sur son index droit. » [9]

En 1988, « en faisant la vérification d'une presse à injection, un technicien se fait écraser la main droite entre les moules alors que la porte d'accès est ouverte. À cause de l'usure sur le micro-interrupteur et du mauvais ajustement de la porte coulissante, le cycle est remis en marche accidentellement lorsque le technicien s'appuie sur le haut de la porte encore ouverte. » [9]

En 1995, « une travailleuse a trois doigts écrasés dans le moule d'une presse à plastique alors qu'elle lubrifie une composante du moule. La travailleuse accède à la partie supérieure du moule pendant que la presse est en fonction, contournant ainsi le système de sécurité et s'exposant au coincement. La méthode de travail qui lui a été suggérée avait comme particularité de faire monter la travailleuse sur l'unité hydraulique pour pulvériser du silicone sur les barres du moule afin de ne pas arrêter la production. À tous les dix à quinze cycles, l'opératrice montait sur la plate-forme au-dessus de l'unité hydraulique pour lubrifier avec de la silicone en aérosol. Cette lubrification s'effectuait lorsque la machine est en opération. Cette méthode exposait la travailleuse à la zone du coincement. » [9]

En 2004, un travailleur a subi de graves blessures alors qu'il travaillait sur une presse à injection. Le travailleur devait retirer avec un collègue des panneaux de polystyrène de la presse et ensuite placer douze inserts dans les fentes prévues à cet effet dans le moule. Pour effectuer l'opération, un des deux opérateurs appuyait sur le bouton d'arrêt d'urgence et ils pouvaient ensuite accéder à la zone du moule au moyen d'une plateforme métallique fixe. Lors d'un des cycles de production, un des opérateurs appuie sur le bouton de démarrage plutôt que sur l'arrêt d'urgence. Les deux opérateurs accèdent à la zone du moule. La fermeture du moule débute et un opérateur descend de la plateforme afin d'arrêter la presse. Mais il est incapable d'arrêter la fermeture du moule et l'autre opérateur est écrasé entre les deux parties du moule. L'opérateur est gravement blessé : contusions abdominales, contusions thoraciques, fracture d'une omoplate et de côtes, lésions internes et brûlures graves à la tête et au thorax.

E.2 Haute température

En 1984, « un travailleur était en train de brûler avec un chalumeau les débris d'une pièce moulée restée prise dans la matrice lorsqu'il s'est fait infliger des brûlures au bras et à la main. La dégradation thermique du thermoplastique ABS utilisé dans une presse à injection a produit une éjection de gaz qui s'est enflammé. » [9]

En 1984, « en enlevant le surplus de matière plastique dans un moule, du matériel surchauffé jaillit subitement. Le travailleur est brûlé à la main droite. » [9]

En 1984, « en enlevant un écrou de la presse à injection, le poignet du travailleur a touché au cylindre qui recouvre la vis sans fin et il a subi une légère brûlure au poignet. » [9]

E.3 Projection

En 1985, un accident s'est produit lorsque «un travailleur est heurté mortellement à la tête par une buse anti-retour préalablement chauffé, alors qu'il effectuait le dévissage. La présence de polymère confiné et chauffé a créé une pression telle que la pièce a été arraché. » [9]

En 1987, « un bloc de métal, coincé dans une presse pour mouler le plastique, est éjecté et frappe la jambe d'un aspirant contremaître. » [9]

E.4 Mouvement de la vis

En 2001 un travailleur s'est blessé lors du déblocage de particule de plastique sur une presse à injection. En effet la vis sans fin de la presse était accessible lorsque la presse à injection était en opération.

E.5 Renversement de la presse

En 1979, « un travailleur est écrasé par une presse à injection de 2 720 kg qui se renverse alors qu'il essaie d'en maintenir l'équilibre sur un chariot transpalette. » [9]

E.6 Mouvement de l'appareil de levage

En 2003, un accident de travail survient au moment où le travailleur effectue des ajustements à un moule. L'appareil de levage se met en fonction vers le haut et le travailleur se fait coincer au niveau du tronc entre le moule et la structure de métal. [9]

E.7 Synthèse des dommages subis et des causes d'accident

Les lésions subies par les victimes d'accidents impliquant des presses à injection de plastique recensés dans le cadre de notre étude sont variés. En effet, on remarque notamment des écrasements, des contusions, des brûlures, des fractures et même des décès.

À la lecture des rapports de la CSST, on constate que divers éléments ont mené aux accidents. En voici quelques-uns :

- les zones dangereuses sont accessibles;
- les protecteurs fixes sont absents;
- les travailleurs peuvent accéder aux zones dangereuses en passant autour, dessous ou au-dessus des protecteurs, alors que la machine fonctionne en mode automatique;

- les travailleurs se retrouvent dans des zones dangereuses pour débloquer les pastilles de plastiques dans la trémie ou des pièces de plastiques dans les moules alors que la machine est en production;
- l'absence de procédure de cadenassage lors des interventions;
- un mauvais fonctionnement de la machine;
- l'absence d'appréciation des risques;
- une connaissance insuffisante de la machine et de son fonctionnement;
- une formation insuffisante; et
- la machine ne dispose pas de dispositif de protection.

ANNEXE F : RÉFÉRENCES ET FONCTIONS DES COMPOSANTS UTILISÉS DANS LES CIRCUITS DE COMMANDE RELATIFS À LA SÉCURITÉ DE LA PRESSE À INJECTION DE L'IRSSST

Tableau F.1 : Fonction des interrupteurs et des détecteurs de position

Interrupteur et détecteur de position	Fonction
S157	Arrêter le moteur, la pompe et le système de chauffage de l'unité de plastification et d'injection dès que le protecteur C est ouvert.
S151A S151B	Arrêter, dès que le protecteur A ou D est ouvert, les mouvements suivants : 1) ouverture et fermeture du plateau mobile, 2) mouvement du mécanisme de fermeture, 3) mouvement de va-et-vient des éjecteurs et de leur mécanisme, 4) mouvement d'avance de l'unité de plastification et/ou d'injection portant la buse, 5) translation de la vis et 6) rotation de la vis.
S150	Aucune fonction n'a pu être associée à cet interrupteur lié au protecteur D lors des essais fonctionnels.
S178	Surveiller le système de blocage mécanique du plateau mobile.
S171	Surveiller la vanne de sécurité.
S202	Arrêter, dès que le protecteur G est ouvert, les mouvements suivants : 1) ouverture et fermeture du plateau mobile, 2) mouvement du mécanisme de fermeture, 3) mouvement de va-et-vient des éjecteurs et de leur mécanisme, 4) mouvement d'avance de l'unité de plastification et/ou d'injection portant la buse, 5) translation de la vis et 6) rotation de la vis.
S204	Arrêter, dès que le protecteur J est ouvert, les mouvements suivants : 1) ouverture et fermeture du plateau mobile, 2) mouvement du mécanisme de fermeture, 3) mouvement de va-et-vient des éjecteurs et de leur mécanisme, 4) mouvement d'avance de l'unité de plastification et/ou d'injection portant la buse, 5) translation de la vis et 6) rotation de la vis.
Svanne	Arrêter le mouvement du plateau mobile dès que le protecteur A ou le protecteur D est ouvert.

Tableau F.2 : Fonction des électrovalves

Solénoïdes des valves hydrauliques	Fonctions
Y917	Solénoïde de l'électrovalve assurant l'arrêt ou la circulation du débit sortant de la pompe.
Y901	Solénoïde de l'électrovalve proportionnelle réglant le débit et la pression hydraulique.
Y101 et Y511	Solénoïdes de l'électrovalve servant à mettre en mouvement et à arrêter le plateau mobile sur lequel est fixé le moule.
Y171	Solénoïde de l'électrovalve de sécurité servant à mettre en mouvement et à arrêter le plateau mobile sur lequel est fixé le moule.
Y611 et Y601	Solénoïdes de l'électrovalve servant à mettre en mouvement et à arrêter les éjecteurs.
Y211 et Y201	Solénoïdes de l'électrovalve servant à mettre en mouvement et à arrêter la buse.
Y411 et Y301	Solénoïdes de l'électrovalve servant à mettre en mouvement et à arrêter la vis.
Y401	Solénoïde de l'électrovalve servant à faire le dosage (démarrage et arrêt de la rotation de la vis).

Tableau F.3 : Fonction des modules à base de logique câblée utilisant des relais à contacts guidés

Modules	Fonction gérée par le module	Nombres de relais
B05-ARB 657 : carte relais arrêt d'urgence	<ul style="list-style-type: none"> ○ Arrêt d'urgence ○ Verrouillage du protecteur C ○ Surveillance de la température hydraulique ○ Annulation de l'alarme 	3
B06-ARB 658 : carte relais circuit de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> ○ Verrouillage du protecteur du moule (A) ○ Verrouillage du protecteur du mécanisme de fermeture (D) ○ Surveillance de la vanne de sécurité ○ Verrouillage du protecteur de la buse (G) ○ Verrouillage du protecteur de la vis (J) 	3

ANNEXE G : DOCUMENTATION DES INTERVENTIONS RÉALISÉES AUPRÈS DES PRESSES DANS DEUX USINES

Avant d'entreprendre une analyse de risque sur la presse à injection à l'IRSST, deux entreprises ont été visitées. Quelques données ont été recueillies afin de mieux cerner le contexte d'utilisation des presses à injection en milieu industriel. De plus, les tâches exécutées sur les presses en fonction des corps de métiers ont été inventoriées et les chercheurs ont observé l'opération de deux presses et la réalisation de changements de moules. Le but visé était de faciliter l'analyse du risque réalisée sur la presse à injection de l'IRSST.

G.1 Particularités des deux presses observées en usine

Lors des visites en usine, les chercheurs ont observé l'opération et le changement de moules sur deux presses ayant une force de fermeture maximale similaire à celle de la presse de l'IRSST. En plus du fait qu'elles sont utilisées dans un contexte de production, ce qui les distingue de la presse de l'IRSST est leur mode d'alimentation en pastilles. En effet, le système qui alimente la presse observée à l'usine A et illustrée à la figure G.1 consiste en un vacuum (aspirateur) qui alimente la trémie en aspirant les pastilles de plastique stockées dans un baril se trouvant sur le plancher à côté de la presse. Pour ce qui est de la presse de l'usine B, illustrée à la figure G.2, l'alimentation en pastilles de plastique est réalisée par l'intermédiaire d'un système de distribution assurant l'alimentation en pastilles à de nombreuses presses.



Figure G.1 : Presse à injection de plastique dans l'usine A



Figure G.2 : Presse à injection de plastique dans l'usine B

G.2 Caractéristiques des usines visitées

Pour favoriser une meilleure compréhension de l'environnement de production où sont situées les presses à injection observées, les chercheurs ont relevé les données présentées dans le tableau G.1.

Tableau G.1 : Données recueillies lors des visites dans l'usine A et l'usine B

	Usine A	Usine B
Nombre d'années d'expériences dans le moulage par injection	15 ans	35 ans
Nombres d'employés	60	55
Caractéristiques de la production	5 jours par semaine 3 quarts de 8 heures	7 jours par semaine 4 quarts de 6 heures
Nombre de presses à injection de plastique	21	14
Force de fermeture maximale des presses	28-1500 tonnes	70-1500 tonnes
Type de résine utilisé	Nylon, ABS, HDPE PVC, PET, polycarbonate	Nylon, ABS, HDPE, PET, polycarbonate
Type et nombre de personnes intervenant sur les presses	40 opérateurs 6 monteurs-ajusteurs de moule 1 mécanicien 1 machiniste 1 électricien 1 teinturier	40 opérateurs 4 monteurs-ajusteurs de moules 1 mécanicien 1 programmeur de robot
Historique des accidents et des problèmes de santé liés aux presses à injection	Des accidents mineurs sont survenus lors de la manipulation des grosses pièces en plastique. Des cas de tendinites et de maux de dos.	Des petites coupures et brûlures légères sont survenues. Des cas de maux de dos.

G.3 Description des tâches réalisées auprès des presses à injection par les différents corps de métier

G.3.1 Tâches réalisées par les opérateurs

Les tâches accomplies par les opérateurs dépendent du mode de fonctionnement de la presse. Dans les deux usines, les presses sont utilisées soit dans le mode automatique soit dans le mode semi-automatique. Le mode semi-automatique est utilisé notamment lorsque les pièces en plastique chaudes doivent être manipulées avec précaution afin qu'elles ne se déforment pas et

ne s'effritent pas. Les dimensions des pièces et les particularités des moules influent également sur la sélection du mode de fonctionnement de la presse.

Par ailleurs, tout dépendant de la force de fermeture maximale des presses à injection, des pièces moulées et du mode de fonctionnement des presses, l'opérateur peut s'occuper soit d'une, soit de plusieurs presses simultanément.

Mode automatique

Les opérateurs de presses à injection dans l'usine A ont des tâches bien définies lors de l'opération de la presse en mode automatique. Voici ces tâches.

- Prendre la boîte en carton contenant les pièces éjectées de la presse.
- Déverser le contenu de la boîte sur la table et ensuite replacer la boîte.
- Inspecter les pièces de plastique manuellement pour s'assurer de la qualité de la finition (formes, couleurs, etc.) et de l'intégrité des pièces.
- Mettre les pièces conformes dans une boîte.
- Mettre de côté les pièces défectueuses pour ensuite les insérer au broyeur tout comme c'est le cas pour les carottes et les autres rebus.
- Informer les monteurs-ajusteurs des anomalies avec la presse à injection.

Les opérateurs dans l'usine B ne font qu'inspecter les pièces et mettre de côté les pièces non conformes, puisque des convoyeurs sont utilisés pour collecter les pièces éjectées de la presse.

Mode semi-automatique

À la fin de chaque cycle de production effectué en mode semi-automatique, les opérateurs doivent d'abord ouvrir le protecteur mobile protégeant l'accès au moule et ensuite retirer la ou les pièces de plastique. Bien que la durée d'un cycle varie en fonction des caractéristiques des pièces moulées, celui-ci dure tout de même généralement de 30 secondes à une minute. Conséquemment, le fonctionnement de la presse en mode semi-automatique oblige typiquement l'opérateur à ouvrir le protecteur mobile et à aller chercher la ou les pièces moulées de 60 à 120 fois l'heure. Exceptionnellement, un cycle de production peut durer 2 minutes et demander à l'opérateur une moins grande fréquence d'accès au moule.

Déblocage

D'autre part, les opérateurs de l'usine B sont autorisés à faire du déblocage, c'est-à-dire dégager une pièce en plastique qui est restée coincée dans le moule pour diverses raisons. Cependant, les opérateurs de l'usine A ne sont pas autorisés à intervenir sur les presses à injection lors d'un blocage. En effet, cette tâche est réservée aux monteurs-ajusteurs de moules (« set-up men »), notamment pour des raisons de sécurité et parce que les opérateurs ne sont pas formés pour réaliser ce type d'intervention.

G.3.2 Tâches réalisées par les monteurs-ajusteurs de moules («set-up men»)

Les monteurs-ajusteurs de moule ont reçu une formation spécialisée dans une école de plasturgie. Ils accomplissent les tâches ci-dessous :

- Remplacer les moules. Cette activité comprend les tâches suivantes :
 - Démontez le moule présent dans la presse et débranchez les circuits de refroidissement, électrique et hydraulique.
 - Transporter le moule démonté et le moule à monter à l'aide d'un équipement de levage.
 - Monter le moule et brancher les circuits de refroidissement, électrique et hydraulique.
 - Changer la buse, s'il y a lieu.
 - Régler des paramètres de moulage tels que la température de l'élément chauffant, la vitesse de rotation de la vis, la pression, etc.
- Purger (nettoyer la vis avant un changement de matière première).
- Démarrer la production.
 - Ajuster de façon optimale les paramètres de moulage (rodage).
- Arrêter la production.
- Débloquer les moules.

Détails concernant la réalisation de quelques tâches

Le remplacement des petits moules dure en moyenne de deux à trois heures tandis que le remplacement des gros moules requiert plusieurs heures ou même une journée. Dans l'usine A, sur une presse où sont installés des petits moules, il survient en général 3 à 4 remplacements de moule quotidiennement. D'autre part, les buses sont changées un peu moins souvent que les moules. Le monteur-ajusteur prend normalement 2 minutes pour changer une buse.

Quant à elle, la purge se fait quotidiennement et dure environ 15 à 30 minutes. Le changement de buse et la purge surviennent plus fréquemment dans l'usine B, car la matière plastique transparente est utilisée. Fait à noter, lors de la purge, le monteur-ajusteur grimpe sur la presse pour verser un produit dans le trou d'alimentation situé au bas de la trémie, pendant que la vis est en rotation. Au moment de cette opération, le monteur-ajusteur a accès à cette vis.

Par ailleurs, le cadenassage n'est pas utilisé dans les deux usines lors des changements de moules ou de buses alors que les machines demeurent alimentées en énergie électrique. Finalement, les monteurs-ajusteurs n'ont pas accès au programme de l'automate programmable et se limitent à insérer les paramètres de production (température, vitesse, pression, etc.).

G.3.3 Tâche des mécaniciens

Le mécanicien d'entretien effectue différents travaux liés à l'entretien et à la réparation mécanique des équipements de l'entreprise. Par exemple, il diagnostique et solutionne les problèmes touchant les systèmes mécanique et hydraulique des presses à injection. La

maintenances hydrauliques des presses est d'ailleurs une tâche qui lui est réservée. Autre exemple, il change une ou deux fois par année les filtres hydrauliques des presses à injection. Il s'occupe aussi du graissage quotidien des pièces mobiles dans les machines et vérifie le niveau d'huile hydraulique sur toutes les presses à injection une fois par semaine. Fait à noter, le cadenassage des presses n'est pas pratiqué dans les deux usines, même lors de la maintenance, car aucun programme de cadenassage n'est implanté dans ces milieux de travail.

G.3.4 Tâches du machiniste

Le machiniste utilise le tour, la fraiseuse et différentes autres machines-outils pour effectuer des modifications, des réparations mineures ou des corrections majeures sur les moules et l'outillage. Il lui arrive également de venir effectuer des correctifs directement sur le moule qui est fixé sur une presse.

G.3.5 Tâche du teinturier ou du responsable de la coloration du plastique

Quant à lui, le teinturier ajoute la coloration aux granules et s'assure de la bonne couleur des pièces. Dans l'usine A, il lui arrive occasionnellement d'utiliser une échelle pour atteindre la trémie.

G.3.6 Tâches du technicien du fabricant

Annuellement, le technicien du fabricant de la presse à injection calibre les cartes électroniques liées aux électrovalves et il vérifie la programmation de l'automate.

ANNEXE H : GRILLES D'ÉVALUATION EN FONCTION DE LA NORME ANSI/SPI B151.1-1997

Tableau H.1 : Grille d'évaluation de la sécurité de la presse à injection de plastique horizontale automatisée à l'IRSSST

Article	Exigence de la norme ANSI/SPI B151.1-1997	Commentaire
	Protection de l'accès à la zone du moule par les côtés de la presse	
5.2.1	Un protecteur mobile verrouillé empêche l'accès à la zone du moule.	
5.2.1	Le protecteur contient les projections de plastique chaud lors de l'opération de la presse à injection.	
5.2.2	Le protecteur est relié à un mécanisme de blocage du moule et à deux dispositifs de verrouillage indépendants dont le premier est électrique et le second est hydraulique.	
5.2.1	L'opération de la presse est possible uniquement lorsque le protecteur mobile est fermé.	
5.2.2	L'ouverture du protecteur est détectée par le dispositif de verrouillage électrique qui empêche alors: 1) la fermeture du plateau mobile, 2) le mouvement des éjecteurs, 3) l'avance de l'unité d'injection et 4) la rotation de la vis.	
5.2.2	Le dispositif de verrouillage électrique est conçu selon une logique câblée indépendante du système programmable de la presse.	
5.2.2	L'interrupteur intégré dans le dispositif de verrouillage électrique est situé de telle sorte qu'il soit difficile de l'actionner accidentellement.	
5.2.3	Un dispositif mécanique bloque physiquement la fermeture du moule dès que le protecteur est ouvert.	
5.2.3	Le dispositif mécanique est surveillé de telle sorte que son dysfonctionnement arrête le cycle de la presse à injection et déclenche une alarme.	
	Protection de l'accès à la zone du moule par les côtés de la presse (suite)	
5.2.4	L'ouverture du protecteur entraîne, par un moyen mécanique ou électrique indépendant, l'actionnement du dispositif de verrouillage hydraulique.	

Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique

Article	Exigence de la norme ANSI/SPI B151.1-1997	Commentaire
5.2.4	L'actionnement du dispositif de verrouillage hydraulique entraîne l'arrêt du mouvement du plateau mobile en agissant directement sur le circuit hydraulique.	
5.2.4	Le cycle de la presse est arrêté et une alarme est déclenchée dès que l'unité de surveillance détecte un dysfonctionnement du système de verrouillage hydraulique.	
	Protection de l'accès à la zone du moule par le dessus de la presse	
5.2.7	Un protecteur fixe ou mobile verrouillé protège l'accès à la zone du moule par le dessus de l'équipement si cet accès est possible pour un travailleur debout sur le plancher.	
5.2.7	L'ouverture ou le retrait du protecteur mobile verrouillé empêche la réalisation de tous les mouvements de la presse.	
	Protection de l'accès à la zone du moule par le dessous de la presse	
5.2.8	L'accès à la zone du moule par le dessous de la presse est empêché par la présence de protecteurs fixes ou mobiles ou encore par la présence d'un convoyeur.	
	Protection de l'ouverture d'alimentation	
5.3.2	L'accès à l'ouverture d'alimentation en pastilles est protégé afin d'empêcher l'opérateur d'y insérer la main par inadvertance.	
	Protection de la zone de la buse	
5.3.5	Un protecteur mobile verrouillé protège l'accès à la zone de la buse.	
5.3.5	Dès que le protecteur verrouillé est ouvert ou retiré, cela entraîne l'arrêt de 1) la rotation de la vis, de 2) l'avance de la vis, de 3) l'avance de l'unité d'injection et de 4) la purge.	
	Protection de la zone d'injection	
5.3.6	L'accès aux zones à haute température ou aux zones sous tension de l'unité d'injection est protégée par un protecteur.	
	Arrêt d'urgence	
5.5	Un bouton d'arrêt d'urgence se trouve sur chaque tableau de commande de l'opérateur.	

ANNEXE I : NORMES SUR LES SYSTÈMES DE COMMANDE RELATIFS À LA SÉCURITÉ ISO 13849-1 : 1999

La norme ISO 13849-1 :1999 s'applique aux parties du système de commande relatives à la sécurité. Cette norme s'applique à toutes les parties des systèmes de commande relatives à la sécurité, indépendamment du type d'énergie utilisée, par exemple électrique, hydraulique, pneumatique, mécanique. Plus la réduction du risque est dépendante des parties d'un système de commande relatives à la sécurité, plus l'aptitude de ces parties à résister aux défauts exige d'être élevée. Cette aptitude de résistance au défaut est quantifiée par la fiabilité des composants et par une structure résistant aux défauts. Des mesures pratiques comporte la redondance, la diversité, la surveillance.

Cette norme comporte une catégorisation ou classification des systèmes de commande relatifs à la sécurité liée à leur résistance aux défauts et à leur comportement à la suite de défauts et qui est satisfaite par la disposition structurelle des parties et/ou leur fiabilité. Un défaut correspond à l'état d'une entité inapte à accomplir une fonction requise. La conséquence d'un défaut peut être un dysfonctionnement du circuit de commande qui pilotera la partie opératrice de la machine de façon erronée, avec les conséquences possibles d'accidents. Le tableau I.1 présente un résumé de la norme.

Tableau I.1: Résumé des prescriptions pour les catégories de la norme ISO 13849-1 : 1999

Catégorie	Résumé des prescriptions	Comportement du système	Principes pour atteindre la sécurité
B	Les parties des systèmes de commande relatives à la sécurité et/ou leurs dispositifs de protection, ainsi que leurs composants, doivent être conçus, fabriqués, sélectionnés, montés et combinés selon les normes pertinentes afin de pouvoir faire face aux influences attendues.	Si un défaut se produit, il peut conduire à la perte de la fonction de sécurité.	La sélection des composants
1	Les prescriptions de la catégorie B s'appliquent. Des composants éprouvés et des principes de sécurité éprouvés doivent être utilisés.	Comme décrit pour la catégorie B mais avec une plus grande sécurité relative à la fiabilité de la fonction de sécurité.	
2	Les exigences de la catégorie B et l'utilisation des principes de sécurité éprouvés s'appliquent. La ou les fonctions de sécurité doivent être contrôlées à intervalles convenables par le système de commande de la machine.	L'apparition d'un défaut peut mener à la perte de la fonction de sécurité dans l'intervalle entre deux contrôles. La perte de la fonction de sécurité est détectée par le contrôle.	La structure
3	Les exigences de la catégorie B et l'utilisation des principes de sécurité éprouvés s'appliquent. Les parties relatives à la sécurité doivent être conçues de façon à ce qu'un défaut unique dans n'importe laquelle de ces parties ne conduise pas à la perte de la fonction de sécurité et si cela est raisonnablement faisable, le défaut unique soit détecté.	Lorsqu'un défaut unique se produit, la fonction de sécurité est toujours assurée. Certains défauts seront détectés, mais pas tous. L'accumulation de défauts non détectés peut conduire à la perte de la fonction de sécurité.	
4	Les exigences de la catégorie B et l'utilisation des principes de sécurité éprouvés s'appliquent. Les parties relatives à la sécurité doivent être conçues de sorte qu'un défaut unique dans n'importe laquelle de ces parties ne conduise pas à la perte de la fonction de sécurité, et le défaut unique soit détecté dès, ou avant la prochaine sollicitation de la fonction de sécurité. Si cette détection n'est pas possible, une accumulation de défauts ne doit pas mener à une perte de la fonction de sécurité.	Lorsque les défauts se produisent, la fonction de sécurité est toujours assurée.	
		Les défauts seront détectés à temps pour empêcher une perte de la fonction de sécurité.	

Le tableau C.1 de la norme ISO 13849-2 :2003 présente des principes de sécurité de base pour les systèmes hydrauliques. Quelques exemples sont :

- Utilisation du principe de désactivation énergétique (l'état de sécurité est obtenue par la désactivation énergétique).
- Séparation des fonctions relatives à la sécurité des autres fonctions.
- Limitation de la pression.
- Évitement de manière suffisante de la contamination du fluide.

Les principes de sécurité éprouvés pour les systèmes hydrauliques sont détaillés dans le tableau C.2 de la norme ISO 13849-2;2003. Quelques exemples sont :

- Facteur de surdimensionnement/de sécurité.
- Action mécanique positive.
- Recouvrement positif suffisant dans les distributeurs (le recouvrement positif assure la fonction d'arrêt et empêche les mouvements non admis).

Le tableau D.1 de la norme ISO 13849-2 :2003 présente des principes de sécurité de base pour les systèmes électriques. Quelques exemples sont :

- Fixation sûre des dispositifs d'entrée; Fixer les dispositifs d'entrée, par exemple, les interrupteurs de verrouillage, les interrupteurs de position, les interrupteurs de fin de course, les interrupteurs de proximité afin que la tolérance de position, d'alignement et de commutation soit maintenue dans toutes les conditions prévues, par exemple, vibrations, usure normale, entrée de corps étranger, température.
- Protection contre un redémarrage intempestif (par ex. après restauration de l'alimentation).

Le tableau D.2 de la norme ISO 13849-2 :2003 présente des principes de sécurité éprouvés pour les systèmes électriques. Quelques exemples sont :

- Liaison mécanique positive entre contacts; Utiliser des contacts guidés positivement; par ex. pour la fonction de surveillance.
- Fonctionnement en mode positif; le mouvement est directement transmis par la forme et non par la force, sans élément élastique.
- Minimiser la possibilité des défauts; séparer les fonctions relatives à la sécurité des autres fonctions.
- Équilibre complexité/simplicité; Trouver l'équilibre entre la complexité pour parvenir à une meilleure commande et la simplification pour obtenir une plus meilleure fiabilité.