

Prévention des risques mécaniques et physiques

# Études et recherches

RAPPORT R-822



## **Presses à injection de plastique ayant des équipements périphériques**

**Sécurité lors des interventions  
de maintenance ou de production**

*Yuvin Chinniah  
Sabrina Jocelyn  
Barthélemy Aucourt  
Réal Bourbonnière*



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

## NOS RECHERCHES

*travaillent pour vous !*

### Mission

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

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

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

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

### Pour en savoir plus

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

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

### Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
2014  
ISBN : 978-2-89631-729-5 (PDF)  
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications  
et de la valorisation de la recherche  
505, boul. De Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone : 514 288-1551  
Télécopieur : 514 288-7636  
[publications@irsst.qc.ca](mailto:publications@irsst.qc.ca)  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
© Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
mai 2014



Prévention des risques mécaniques et physiques

# Études et recherches

RAPPORT R-822

## Presses à injection de plastique ayant des équipements périphériques

### Sécurité lors des interventions de maintenance ou de production

#### 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<sup>1</sup>, Sabrina Jocelyn<sup>2</sup>,  
Barthélemy Aucourt<sup>1</sup>, Réal Bourbonnière<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>École Polytechnique de Montréal*

*<sup>2</sup>Prévention des risques mécaniques et physiques, IRSST*

*<sup>3</sup>Consultation Réal Bourbonnière*



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.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les membres du comité de suivi de l'étude, plus particulièrement Mme Guylaine Lavoie de PlastiCompétences, M. Tony Venditti de l'ASFETM et Mme Sophie-Emmanuelle Robert de la CSST, qui ont effectué les démarches initiales : la première pour les contacts en entreprises, le deuxième pour l'obtention d'une visite en usine et la dernière, pour l'accès à des rapports d'accident et d'intervention dépersonnalisés. Nous remercions également M. Renaud Daigle de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) pour sa contribution à la collecte de données effectuée lors d'une visite.

Nous remercions les entreprises nous ayant reçus pour la collecte de données. Comme nous respectons la confidentialité des intervenants et entreprises ayant participé à l'étude, nous nous sommes engagés à ne pas en dévoiler les noms. Cependant, deux de ces usines ont souhaité être citées comme participantes à l'étude. Il s'agit de : Plastiques GPR Inc. et IPEX St-Jacques.

Nos remerciements vont également à M. Philippe Charpentier et M. James Baudoin de l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS, France) pour leur collaboration à l'étude de cas présentée au chapitre 6 de ce rapport. Nous remercions aussi, pour leur aide et leurs conseils, M. Jean-Paul Bello et M. Jean-Pierre Buchweiller de l'INRS (France).

Finalement, nous remercions l'IRSST pour avoir financé cette étude.



## SOMMAIRE

Les risques liés à l'interaction entre les presses à injection de plastique et leurs équipements périphériques (ex. : robots, convoyeurs) sont peu connus des gens du milieu et ces risques peuvent mener à des accidents du travail parfois mortels. Cette activité de recherche vise à étudier la sécurité des travailleurs qui œuvrent sur des presses à injection de plastique horizontales ayant des équipements périphériques. Elle a pour objectif d'évaluer la sécurité des intervenants dans la zone du moule de ce type de presse, en déterminant les risques et en analysant les moyens de réduction de risques pour les tâches de maintenance et de production.

Une analyse de rapports (dépersonnalisés) d'intervention et d'accident de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), la consultation de normes et de guides sur le sujet ont permis de comprendre les risques auxquels sont exposés les utilisateurs de ces machines. Ces documents ont permis d'être au fait des règles de l'art en vigueur en matière de réduction du risque. De plus, huit visites en usines ont permis d'observer les travailleurs lors d'activités de maintenance et de production. Les travaux de maintenance observés étaient de l'ordre de l'entretien de la presse : polissage du moule, nettoyage du moule. Quant aux travaux de production, il s'agissait d'installation d'*inserts*, de changements de moule, d'essais de production et de l'opération (production de pièces moulées).

Les risques constatés sur le terrain et les moyens de réduction du risque observés ont été répertoriés. Leur analyse a permis de retenir les points forts, tout comme les points nécessitant de l'amélioration. Ces observations ont également permis de caractériser les pratiques d'interventions des travailleurs pour assurer leur sécurité lors de la maintenance et de la production dans la zone du moule de ce type de presse. Trois mesures de réduction du risque caractéristiques ont été identifiées :

- 1) l'utilisation d'une procédure "condamnation-cadenassage partielle" : la console ou un protecteur est condamné avec un cadenas pour éviter un démarrage par un tiers ;
- 2) l'utilisation de fonctions de sécurité : les travailleurs ont pleinement confiance au système de commande de la presse et ses équipements périphériques pour assurer leur sécurité. Pour accéder à la zone du moule, ils ouvrent des protecteurs mobiles verrouillés ou interverrouillés, utilisent des planchers sensibles détectant une présence dans la zone du moule, utilisent la fonction d'arrêt d'urgence ;
- 3) l'inspection : avant d'entrer dans la zone du moule, ils vérifient le bon fonctionnement des moyens de protection installés sur les machines ; et avant d'utiliser des outils de levage pour manutentionner le moule, ils vérifient l'état de ces derniers.

Aucun cadénassage au sens du Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec n'a été observé. D'après les participants rencontrés lors des visites, ce cadénassage est appliqué uniquement pour les travaux de maintenance majeurs ou de réparation. Par ailleurs, la constatation d'une utilisation importante des fonctions de sécurité lors des interventions dans la zone du moule a poussé l'équipe de recherche à questionner les participants sur la fiabilité de ces fonctions de sécurité et sur l'intégration du système de commande des équipements périphériques à celui de la presse. Les intégrateurs rencontrés nous ont souligné les difficultés qu'ils éprouvent pour estimer cette fiabilité, entre autres la connaissance insuffisante des normes en vigueur par exemple. Afin de les éclairer, un exemple d'estimation *a posteriori* d'une fonction de sécurité est proposé dans ce rapport afin d'étudier la faisabilité d'une telle démarche et en cerner les difficultés et les limites.





## TABLE DES MATIÈRES

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>I</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>III</b>
<b>PRÉFACE</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUCTION : MISE EN CONTEXTE</b> .....	<b>1</b>
1.1 Portrait du secteur de la plasturgie au Québec.....	1
1.2 Origine de l'étude.....	3
1.3 Fonctionnement d'une presse à injection et de ses équipements périphériques .....	3
<b>2. OBJECTIFS DE RECHERCHE</b> .....	<b>5</b>
<b>3. MÉTHODE</b> .....	<b>7</b>
<b>4. RÉSULTATS</b> .....	<b>9</b>
4.1 Analyse des accidents.....	9
4.2 Survol des normes et guides applicables.....	13
4.2.1 Presse et équipements périphériques : risques .....	14
4.2.2 Presse et équipements périphériques : moyens de réduction du risque .....	15
4.3 Description des visites effectuées et tâches observées.....	22
4.4 Composantes du risque et moyens de réduction du risque utilisés en usine .....	25
4.4.1 Autres moyens de réduction du risque utilisés .....	26
4.4.2 Constat terrain sur les systèmes de commande relatifs à la sécurité.....	33
<b>5. DISCUSSION</b> .....	<b>37</b>
5.1 Normes et documents de référence.....	37
5.2 Synthèse des accidents .....	38
5.2.1 Procédures de travail.....	38
5.2.2 Gestion du risque .....	38
5.2.3 Non-respect des procédures et des règles de l'art.....	40
5.3 Analyse du risque et moyens de réduction du risque .....	40
5.4 Bonnes pratiques et lacunes observées en usine.....	44
5.4.1 Différences entre les usines .....	47
5.5 Tâches de changement du moule et d'opération de la presse .....	47

5.5.1	Le cadenassage.....	50
5.5.2	Difficultés d'application du cadenassage.....	50
5.5.3	Alternatives au cadenassage .....	51
<b>5.6</b>	<b>Les tâches de polissage et de nettoyage du moule .....</b>	<b>55</b>
<b>5.7</b>	<b>Protection des équipements périphériques.....</b>	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>ÉTUDE DE CAS : VALIDATION A POSTERIORI D'UNE FONCTION DE SÉCURITÉ D'UNE PRESSE SELON LA NORME ISO 13849-1 .....</b>	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>Systèmes de commande relatifs à la sécurité : normes en sécurité des machines .....</b>	<b>59</b>
<b>6.2</b>	<b>Validation <i>a posteriori</i> : étapes préliminaires.....</b>	<b>60</b>
6.2.1	Fonction de sécurité étudiée.....	60
6.2.2	Choix de la norme .....	61
<b>6.3</b>	<b>Validation <i>a posteriori</i> : étapes subséquentes .....</b>	<b>61</b>
6.3.1	Recherche du niveau de performance requis ( $PL_r$ ).....	61
6.3.2	Recherche de l'architecture désignée.....	61
6.3.3	Estimation du $MTTF_d$ , de la $DC_{avg}$ , de la CCF et vérification des autres critères .....	63
<b>6.4</b>	<b>Validation <i>a posteriori</i> : résultats.....</b>	<b>65</b>
<b>6.5</b>	<b>Validation <i>a posteriori</i> : discussion .....</b>	<b>68</b>
6.5.1	Validité des résultats .....	68
6.5.2	Excel et SIStema : comparaison entre les résultats par rapport à la norme ISO 13849-1 .....	71
<b>6.6</b>	<b>Validation <i>a posteriori</i> : conclusion .....</b>	<b>72</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>73</b>
	<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>75</b>
	<b>ANNEXES.....</b>	<b>79</b>
<b>ANNEXE A -</b>	<b>Version finale de l'outil de collecte de données utilisé pour les visites.....</b>	<b>79</b>
<b>ANNEXE B -</b>	<b>Étapes observées pour les tâches exécutées lors des visites en usines .....</b>	<b>95</b>
<b>ANNEXE C -</b>	<b>Composantes du risque et moyens de réduction du risque observés : grille d'analyse .....</b>	<b>99</b>
<b>ANNEXE D -</b>	<b>Validation <i>a posteriori</i> : contextes de l'étude.....</b>	<b>118</b>
<b>ANNEXE E -</b>	<b>Caractéristiques des composants – contexte « Usine ».....</b>	<b>120</b>
<b>ANNEXE F -</b>	<b>Caractéristiques des composants – contexte « Laboratoire ».....</b>	<b>122</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Degré de risque par secteur de fabrication dans la plasturgie.....	2
Tableau 2 – Moyens de protection suggéré par les normes <i>ANSI/SPI B151.1-2007</i> et <i>NF EN 201:2009</i> . ....	16
Tableau 3 – Contexte des visites.....	23
Tableau 4 – Moyens de réduction du risque facilitant l’exécution des procédures présentées. ....	31
Tableau 5 – Vue d’ensemble du contexte d’intégration aux presses.....	36
Tableau 6 – Liste des moyens de réduction du risque observés et usines concernées : prévention intrinsèque et réduction du risque par conception. ....	41
Tableau 7 – Liste des moyens de réduction du risque observés et usines concernées : protecteurs et dispositifs de protection. ....	42
Tableau 8 – Liste des moyens de réduction du risque observés et usines concernées : mesures de type organisationnel (formation, avertissement, EPI).....	43
Tableau 9 – Contexte « Usine » : résultats obtenus, avec <i>Excel</i> et par analyse du circuit, pour l’estimation <i>a posteriori</i> du PL.....	66
Tableau 10 – Contexte « Laboratoire » : résultats obtenus, avec <i>Excel</i> et par analyse du circuit, pour l’estimation <i>a posteriori</i> du PL.....	67
Tableau 11 – Contexte « Usine » : résultats obtenus avec <i>SISistema</i> pour l’estimation <i>a posteriori</i> du PL.....	67
Tableau 12 – Contexte « Laboratoire » : résultats obtenus avec <i>SISistema</i> pour l’estimation <i>a</i> <i>posteriori</i> du PL. ....	68
Tableau 13 – Définition du contexte « Usine ». ....	118
Tableau 14 – Définition du contexte « Laboratoire ». ....	119
Tableau 15 – Contexte « Usine » : caractéristiques des composants du canal 1 (S/O = sans objet). ....	120
Tableau 16 – Contexte « Usine » : caractéristiques des composants du canal 2 (S/O = sans objet). ....	121
Tableau 17 – Contexte « Laboratoire » : caractéristiques des composants du canal 1 (S/O = sans objet). ....	122
Tableau 18 – Contexte « Laboratoire » : caractéristiques des composants du canal 2 (S/O = sans objet). ....	123



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Répartition des marchés du secteur québécois de la plasturgie [1, 3].	1
Figure 2 – Schéma d’une presse à injection de plastique horizontale.	3
Figure 3 – La zone délimitée par l’étude.	5
Figure 4 – Protectors d’une presse à injection de plastique horizontale [9].	17
Figure 5 – Représentation schématique (sans être à l’échelle) des différentes configurations des systèmes « presse-équipement(s) périphérique(s) » observés.	24
Figure 6 – Inscription de mise en garde placée sur le bâti de la presse.	26
Figure 7 – Voyant lumineux vert informant de l’autorisation d’ouvrir la porte de l’enceinte.	26
Figure 8 – Condamnation-cadenassage partielle : le cadenas bloque le protecteur de l’opérateur sur son rail.	27
Figure 9 – Travailleur installant un moule en s’agenouillant sur un convoyeur.	28
Figure 10 – Condamnation-cadenassage partielle : cadenassage de groupe (1) et du panneau de commande (2).	28
Figure 11 – Panneau témoignant de la présence d’un travailleur non visible dans la presse.	30
Figure 12 – Exemple de manutention d’un moule avec un pont roulant.	31
Figure 13 – Schéma de la configuration d’un système de commande composé d’un API et d’un module de logique câblée (usine A).	33
Figure 14 – Schéma de la configuration d’un système de commande composé de 2 API qui interagissent : 1 pour la presse et 1 pour le robot (usines B, D, E et F).	34
Figure 15 – Suggestion d’amélioration pour la configuration des usines B, D, E et F.	34
Figure 16 – Schéma de la configuration d’un système de commande ayant un même API pour la presse et ses équipements périphériques (usine C).	35
Figure 17 – Suggestion d’amélioration pour la configuration de l’usine C.	35
Figure 18 – Répartition des moyens de réduction du risque pour les systèmes visités dans les usines.	44
Figure 19 – Monteur-ajusteur de moule sur les barres de guidage.	46
Figure 20 – Travailleur sur le marchepied encombré par des brides de serrage.	46
Figure 21 – Travailleur sur un escabeau aux marches étroites.	47
Figure 22 – Tronc d’un travailleur dans la zone du moule (1) et corps entier d’un travailleur dans cette zone (2).	48
Figure 23 – Graphe de risque [38].	49
Figure 24 – Enceinte de protection abritant le robot et la partie du convoyeur ayant un angle rentrant accessible.	57
Figure 25 – Protecteur d’angle rentrant, installé sur un rouleau porteur du convoyeur.	58

Figure 26 – Presse étudiée et son protecteur de l’opérateur [7].....	60
Figure 27 – Architecture de la fonction de sécurité étudiée. ....	62
Figure 28 – Impact du nombre moyen annuel d’utilisations sur le $MTTF_d$ résultant, la $DC_{avg}$ et le PL.....	69
Figure 29 – Exemple d’escabeau (à gauche) et de marchepied (à droite). ....	99
Figure 30 – Utilisation d’une plateforme pourvue d’échelles pour éviter de grimper sur le moule.....	100

## PRÉFACE

À l'exception du chapitre 6, ce document s'adresse notamment aux travailleurs sur des presses à injection de plastique horizontales ayant des équipements périphériques, leurs employeurs, ainsi que les intégrateurs et concepteurs de machines. Quant au chapitre 6, il est destiné aux intégrateurs et concepteurs de systèmes de commande relatifs à la sécurité. Pour comprendre ce chapitre, en plus de connaître les systèmes de commande, il est nécessaire d'avoir des connaissances de base sur la norme de conception : *ISO 13849-1:2006* ou *NF EN ISO 13849-1:2008*. Cette norme s'intitule : « Sécurité des machines -- Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité -- Partie 1: Principes généraux de conception ».

Le chapitre 6 présente une étude de cas visant à rendre la compréhension de cette norme plus accessible. En effet, des intégrateurs et concepteurs rencontrés sur le terrain nous ont mentionné qu'ils trouvaient les normes de conception en systèmes de commande relatifs à la sécurité difficiles de compréhension et d'application. Tout en restant fidèle aux notions présentées dans la norme *ISO 13849-1*, le chapitre 6 facilite la compréhension de la norme, à travers son application à un circuit de commande existant. Pour approfondir l'étude de cas, nous invitons le lecteur à consulter le chapitre 3 de la référence bibliographique #3 du présent rapport.





# 1. INTRODUCTION : MISE EN CONTEXTE

## 1.1 Portrait du secteur de la plasturgie au Québec

Au Québec, le secteur de la plasturgie compte près de 500 établissements et emploie 30 000 personnes environ [1]. Les livraisons effectuées dans ce secteur totalisent 3,8 milliards de dollars ; 96 % d’entre elles sont destinées aux marchés de l’emballage, du transport et de la construction [1]. La figure 1 illustre la répartition des marchés composant ce secteur. Selon Industrie Canada [2], deux sous-secteurs de la plasturgie interviennent dans la réalisation de ses activités : 1) le sous-secteur des machines et 2) celui du moulage. Le premier sous-secteur regroupe les fabricants de machines intervenant dans la réalisation des produits en plastique. Ces produits sont créés à partir de procédés, tels que : l’extrusion, le thermoformage, le moulage par soufflage, le moulage par rotation et le moulage par injection. Le second sous-secteur consiste principalement à produire des moules. La production de chaque modèle de pièce en plastique requiert son propre moule, afin de répondre aux spécificités du client. Ce moule est installé sur la machine (une presse) qui fonctionne selon l’un des procédés cités précédemment. À chaque production d’un nouveau modèle de pièce, un changement de moule s’impose, suivi d’essais de production pour vérifier le réglage adéquat de la presse. De la maintenance (préventive et corrective) est également réalisée afin d’assurer la productivité de la presse [3].

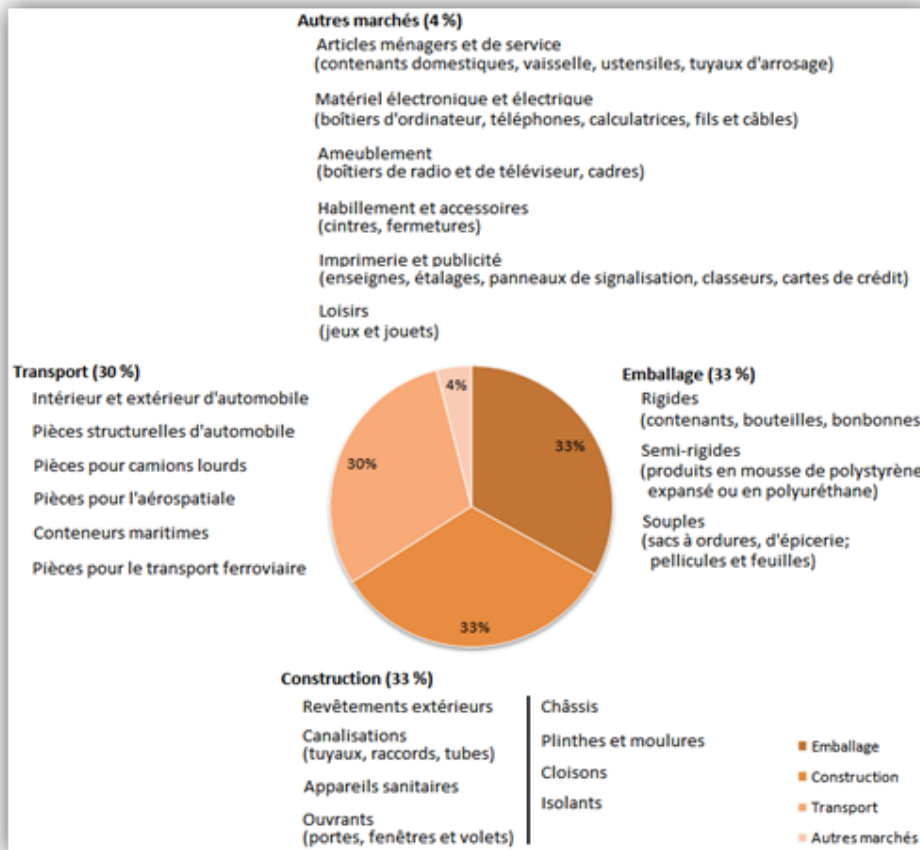


Figure 1 – Répartition des marchés du secteur québécois de la plasturgie [1, 3].

Du point de vue de la santé et de la sécurité du travail (SST), le secteur de la plasturgie appartient au groupe 2 des six groupes prioritaires établis par la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) [4]. « Ce regroupement a été établi en fonction de divers paramètres, notamment la similitude de l'activité économique et la fréquence et la gravité des lésions professionnelles » [4]. Moins le numéro du groupe est élevé, plus il est prioritaire. En tant que secteur du groupe 2, la Loi sur la santé et la sécurité au travail (LSST) [5] lui impose un plan de prévention qui inclut quatre mécanismes : 1) un programme de prévention, 2) un programme de santé spécifique à l'établissement, 3) un comité santé et sécurité du travail, et 4) un représentant à la prévention. L'appartenance du secteur de la plasturgie au groupe 2 et ces mécanismes obligatoires de prévention laissent comprendre que cette industrie appartient aux secteurs dont la problématique des lésions professionnelles est importante et qu'un intérêt doit être porté à celle-ci pour la résoudre. Le tableau 1 présente le niveau de risque relatif à la SST dans différents secteurs de fabrication de la plasturgie, pour la période 2000-2009. Les données du tableau proviennent du site web de la CSST [6].

**Tableau 1 – Degré de risque par secteur de fabrication dans la plasturgie.**

Secteur de fabrication	Degré de risque	
	PME	Ensemble du secteur
Matériel d'emballage et de pellicules, feuilles non stratifiées en plastique	Élevé-extrême	Extrême
Plaques, feuilles (sauf d'emballage) et formes stratifiées en plastique	Faible	Faible-moderé
Tuyaux et raccords de tuyauterie en plastique	Faible	Moderé
Pièces en plastique pour véhicules automobiles	Moderé	Moderé-élevé
Pièces (sauf : sacs, tuyaux, plaques, feuilles, formes stratifiées, pièces pour véhicules automobiles, etc.)	Moderé-élevé	Moderé-élevé

D'après les données de la CSST pour les années 2000 à 2009, le degré de risque du secteur de la plasturgie au Québec varie du niveau « Faible » à « Extrême », comme le montre le tableau 1. D'après ces données, tant pour les PME en plasturgie que pour l'ensemble du secteur :

- Fournir un effort excessif de la part d'un travailleur constitue la cause première de lésions professionnelles (risque de nature ergonomique) ;
- Heurter un objet est la cause la moins importante de lésions professionnelles.

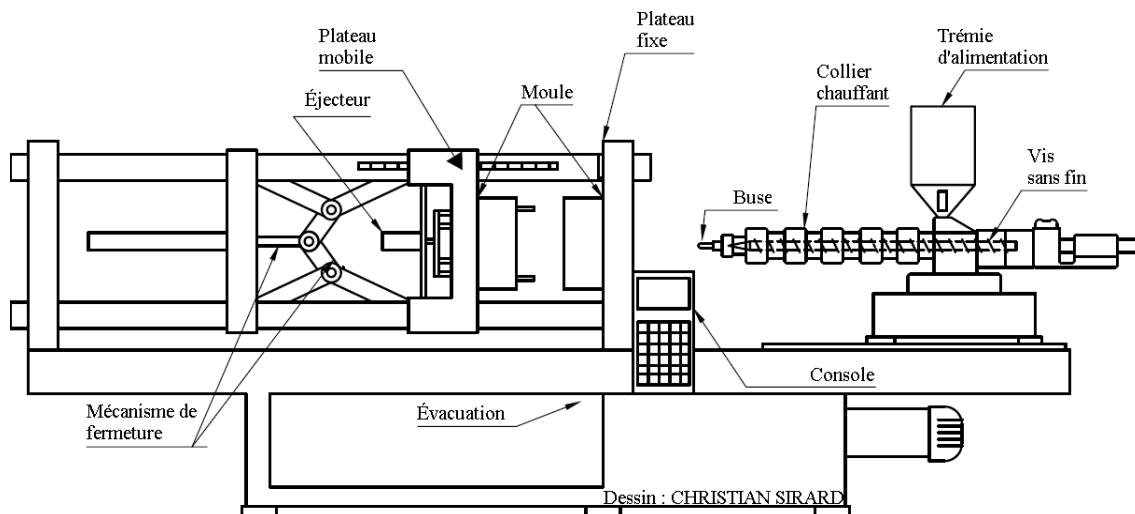
Toujours durant cette période allant de 2000 à 2009, pour l'ensemble du secteur, les  $\frac{3}{4}$  des accidents mortels impliquent des travailleurs coincés ou écrasés mortellement par de la machinerie en marche. Cette machinerie étant soit la presse elle-même, soit un équipement situé en périphérie, tel un carrousel [6]. Notons que cette constatation rejoint directement le sujet traité par ce rapport de recherche.

## 1.2 Origine de l'étude

En 2008, l'IRSST a publié un rapport de recherche qui décrit une démarche concrète d'analyse du risque appliquée à une presse à injection de plastique [7]. La démarche est basée sur la norme *ISO 14121:1999* [8]. Les moyens de réduction du risque de cette presse ont été analysés et commentés. Un guide découlant du rapport a également été rédigé [9]. Cependant, les risques liés à l'interaction entre les presses et leurs équipements périphériques (robots, convoyeurs, granulateurs, appareils de levage, escabeaux, escaliers, etc.) sont moins connus des intervenants du milieu et n'ont pas été répertoriés dans le rapport cité ci-dessus. Pourtant, ces risques mènent parfois à des accidents du travail. La présente recherche vise donc à étudier la sécurité des presses à injection ayant des équipements périphériques.

## 1.3 Fonctionnement d'une presse à injection et de ses équipements périphériques

La figure 2 illustre une presse à injection de plastique horizontale et ses principaux composants.



**Figure 2 – Schéma d'une presse à injection de plastique horizontale.**

Une presse à injection de plastique fonctionne généralement de la manière suivante [7, 10, 11] : La trémie est alimentée en granules de plastique, manuellement ou par un système automatisé. Les granules sont acheminées par gravité, via une goulotte d'alimentation, dans le baril d'injection contenant la vis sans fin. Le plastique est fondu par apport de chaleur dans l'unité d'injection (température pouvant atteindre 200°C [12, 13]) et la matière se déplace dans le baril d'injection grâce à la vis sans fin. Cette vis, en translatant vers le moule, sert aussi de piston pour injecter le plastique fondu sous pression dans les empreintes du moule fermé, à travers la buse communiquant avec un orifice de la partie fixe du moule installée sur le plateau fixe. Les empreintes ont une température pour permettre de refroidir le plastique fondu injecté et de le solidifier. Durant le refroidissement des pièces, la vis sans fin translate vers la trémie pour se charger en granules et se préparer pour la prochaine injection. Après un délai prédéterminé

laissant aux pièces le temps de se solidifier, le moule s'ouvre. Une fois le moule ouvert, les éjecteurs sortent pour extraire les pièces moulées ou les décoller afin de faciliter leur extraction par un robot (équipement périphérique). Une fois les pièces extraites, le mécanisme de fermeture génère le mouvement de fermeture du plateau mobile : la partie mobile du moule se rabat sur sa partie fixe, c'est la fermeture du moule. Le moule fermé est donc prêt à recevoir l'injection de plastique fondu et le cycle reprend.

Comme mentionné plus tôt, les presses à injection de plastique peuvent être utilisées avec des équipements périphériques. Dobraczynski et Chatain [13] catégorisent ceux-ci en trois groupes :

- **matériel de robotique**, conçu pour le chargement et le déchargement des moules ;
- **matériel de traitement des pièces injectées** : dispositifs de décarottage, de triage pièce-carotte, de comptage et de stockage automatique, convoyeurs et tapis transporteurs... ;
- **matériel de montage, connexion, démontage et stockage des moules**.

Ces auteurs avancent que le désir d'accroître la productivité et les exigences de qualité expliquent le choix du matériel robotique et du matériel de traitement des pièces. Il existe des robots-manipulateurs pendulaires ou se déplaçant sur rail. Selon leur nature, ils accèdent à la zone du moule latéralement ou par le dessus (la « zone du moule » désigne l'espace entre les parties mobile et fixe du moule). Les mouvements du robot, synchronisés avec ceux du moule, sont très rapides pour optimiser la durée du cycle d'injection. Le bras du robot doit quitter la zone du moule avant la fermeture de celui-ci. Le type de pièces à produire dicte les caractéristiques requises (ex. : type, dimensions) des préhenseurs du robot. Les robots peuvent être pourvus de pinces à mâchoires articulées afin d'extraire les carottes, ou peuvent comporter des ventouses servant à extraire les pièces produites. Ils peuvent également être destinés à trier les pièces et les carottes, à acheminer directement les carottes dans un granulateur afin de récupérer le plastique et le réutiliser lors d'un processus futur d'injection de plastique. Les pièces peuvent être déposées sur un convoyeur qui les déverse dans des contenants. Par ailleurs, il existe des dispositifs d'extraction de pièces, apparentés à des robots, mais ne portant pas ce nom en raison de leur asservissement qui diffère complètement de celui des robots [14]. Contrairement à ces derniers, ces dispositifs sont souvent dépourvus de boucle de rétroaction contrôlant continuellement leur position [14].

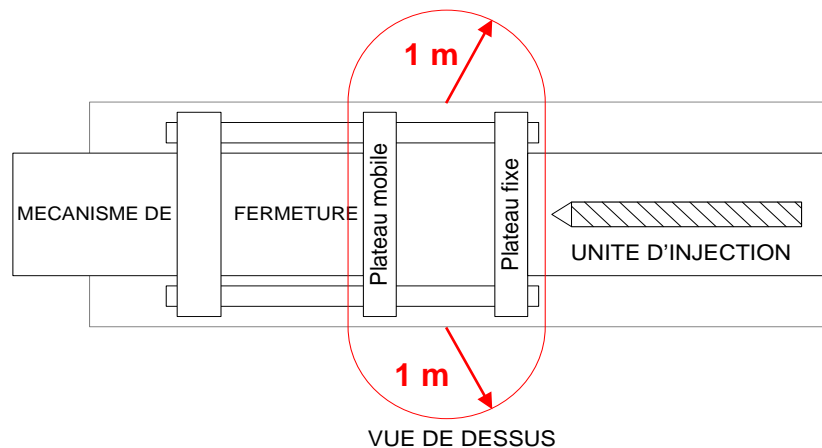
Quant à l'utilisation du matériel de montage, de connexion, de démontage et de stockage des moules, elle se justifie par le besoin de minimiser le temps de démarrage de la production de pièces [13]. En effet, ce genre de matériel facilite et accélère la manutention et l'installation du moule sur les plateaux fixe et mobile de la presse. Par exemple, il existe des dispositifs de bridage rapide de moules afin de fixer le moule sur les plateaux [13, 14]. Des chariots équipés d'un plateau à rouleaux peuvent être utilisés pour déplacer et transporter le moule ; il s'agit de chariots ajustables à la hauteur de la presse. Pour les moules plus lourds, un palan muni d'un crochet peut être utilisé. Le palan, comme le pont roulant, est un appareil de levage pouvant servir à manutentionner les moules.

## 2. OBJECTIFS DE RECHERCHE

L'objectif de l'étude est d'analyser les interventions de maintenance et de production sur des presses à injection ayant des équipements périphériques, en faisant une identification des risques et une analyse des moyens de réduction de ces risques, afin d'évaluer la sécurité des intervenants dans la zone du moule. Plus spécifiquement, l'étude vise à :

- identifier les composantes du risque associées aux systèmes « presses à injection-équipement(s) périphérique(s) » lors des interventions de maintenance et de production ;
- identifier les moyens utilisés en usines pour réduire ces risques ;
- caractériser les pratiques d'interventions des travailleurs pour assurer leur sécurité lors de la maintenance et de la production sur les presses ayant des équipements périphériques ;
- recenser et analyser le choix des moyens de réduction du risque de chacune de ces pratiques d'intervention de maintenance et de production ;
- évaluer l'efficacité de ces moyens de réduction du risque.

**Limites et portée de l'étude :** La présente étude cible les presses à injection de plastique horizontales. L'observation des risques et l'analyse des moyens de réduction du risque concernent uniquement les interventions dans la zone indiquée à la figure 3.



**Figure 3 – La zone délimitée par l'étude.**

Cette zone comprend la zone du moule, la zone de l'ouverture d'évacuation des pièces produites et une zone d'environ un mètre<sup>1</sup> situé de part et d'autre de la machine. Ce périmètre permet de

<sup>1</sup> Le choix de ce rayon est inspiré du tableau 3 de la norme ISO 13857:2008 [15] où, pour une limitation du mouvement uniquement au niveau de l'épaule et de l'aisselle, une distance de sécurité minimale de 850 mm est recommandée. Ainsi, le travailleur est à risque s'il se trouve à l'intérieur d'un rayon de 850 mm par rapport au phénomène dangereux. Comme dans notre cas, le bras du travailleur peut être libre de tout mouvement, le rayon de 1 m a été choisi pour tenir compte de la possibilité qu'a le travailleur de se pencher, volontairement ou accidentellement, et ainsi atteindre la zone du moule.

considérer les risques inhérents aux équipements situés autour de la presse et qui peuvent compromettre la sécurité du travailleur intervenant dans la zone du moule lors de la maintenance et de la production. Dans l'étude, la « maintenance » comprend les travaux d'entretien et de réparation de la machine ; la « production » vise toute opération consistant à mouler des pièces, changer un moule, installer des *inserts* sur le moule, entreprendre des essais de production. L'étude se limite à l'identification des risques. Les résultats qui en découlent n'ont aucune valeur statistique.

### 3. MÉTHODE

La méthodologie utilisée se divise en cinq étapes :

#### 1) Recueillir de l'information préliminaire (revue de littérature)

Une trentaine de rapports d'accident et d'intervention de la CSST ont été analysés afin de comprendre les différents contextes dans lesquels les accidents sur les presses à injection de plastique ou leurs équipements périphériques ont pu survenir. Cette compréhension permet de mieux saisir les risques auxquels sont exposés les travailleurs intervenant sur ces machines. Des normes et des guides ont également été consultés afin de s'informer des règles de l'art en matière de sécurité de ces machines et de sécurité des interventions sur ces dernières ;

#### 2) Élaborer l'outil de collecte de données

Un outil de collecte de données a été élaboré pour la cueillette d'informations lors des visites dans des entreprises œuvrant dans le secteur de la plasturgie. Une visite préliminaire a permis d'améliorer et de valider la première version de l'outil. La dernière version, présentée à l'annexe A, est celle ayant été utilisée pour les sept autres visites ;

#### 3) Recueillir de l'information lors des visites en entreprises

Huit visites ont été réalisées dans six usines pour la collecte d'informations. Ces informations ont été obtenues en observant des opérations de maintenance et de production dans la zone du moule des presses, en échangeant avec des responsables SST, des monteurs-ajusteurs de moules, des techniciens de maintenance, des opérateurs (l'outil de collecte de données a guidé les échanges), en photographiant et en effectuant des enregistrements vidéo du lieu de travail, et en analysant des documents (ex. : plans de machines visitées, fiches de cadenassage, recueils de formation, formulaire d'inspection des machines). Les informations recueillies ont permis d'identifier les risques présents sur les presses et leurs équipements périphériques, ainsi que ceux de la situation de travail propre à l'opération observée. Ces informations ont également permis de recenser les moyens de réduction du risque utilisés en entreprises et leurs caractéristiques, afin d'évaluer leur efficacité. Par exemple, des essais de fonctionnement des protecteurs mobiles ont été entrepris pour vérifier s'ils fonctionnent effectivement comme l'oblige la réglementation québécoise en sécurité des machines [16] ;

#### 4) Compiler et organiser les données recueillies

Après les visites, les données recueillies ont été compilées et organisées sous la forme d'une grille d'analyse. Celle-ci a permis d'identifier facilement les composantes de chaque risque constaté lors des opérations observées pour les systèmes « presse-équipement(s) périphérique(s) ». Les moyens de prévention et de protection associés à ces risques et qui sont utilisés ou qui ont été observés ont été compilés ;

#### 5) Comparer les moyens de réduction du risque recensés à ceux se retrouvant dans la littérature

Les moyens de réduction du risque observés ont été comparés à ceux répertoriés dans la littérature. Cette comparaison a permis de formuler des recommandations sur la sécurité des interventions de maintenance et de production dans la zone du moule de presses à injection horizontales ayant des équipements périphériques.





## 4. RÉSULTATS

### 4.1 Analyse des accidents

Dans le cadre de cette étude, une analyse portant sur les accidents du travail impliquant les presses à injection de plastique au Québec a été effectuée. La direction des affaires juridiques de la CSST a permis à l'équipe de recherche d'accéder à des rapports d'intervention, ainsi que des rapports d'accidents préalablement dépersonnalisés afin de protéger le caractère confidentiel de certains renseignements qu'ils contiennent. Ainsi, 30 rapports d'accidents et d'interventions de la CSST ont été analysés afin de permettre aux chercheurs de mieux cerner les risques associés aux presses à injection de plastique et à leurs usages dans les entreprises. Il faut souligner que l'objectif de l'analyse de ces rapports de la CSST n'était pas de produire un échantillonnage représentatif de l'ensemble du secteur de la plasturgie. Cette étape visait plutôt la prévention des accidents du travail en s'assurant que les diversités en matière de risques, d'interventions, d'intervenants et d'agents causals des accidents soient considérées.

Les points suivants résument les principaux résultats qui découlent de l'analyse des 30 rapports :

- Les 30 rapports concernent 26 accidents et/ou interventions impliquant des presses à injection de plastique; 1 accident/intervention lié à une presse à caoutchouc ; 1 accident/intervention visant une presse à thermoformage et 2 autres liés aux presses soufflage-moulage. Néanmoins, les exemples qui sont présentés dans cette section et les principaux thèmes qui sont développés sont liés à des presses à injection.
- Majoritairement, des petites entreprises (moins de 50 employés) étaient impliquées.
- Le ratio femmes-hommes accidentés était d'une femme pour six hommes. L'information sur le ratio femmes-hommes dans le secteur de la plasturgie au Québec, n'est pas disponible dans la littérature.
- Les fonctions au sein des entreprises et la description des tâches des victimes d'accidents du travail incluaient :
  - Opérateurs ou moniteurs de presse : ils surveillent la qualité des produits sur plusieurs presses simultanément qui fonctionnent en mode automatique. Quand la presse fonctionne en mode semi-automatique, ils vont chercher la pièce dans la zone du moule après chaque cycle. Ils assurent la bonne marche des machines, mais habituellement n'interviennent pas lors de leur préparation (*setup*). Les opérateurs doivent habituellement décider s'ils font appel au technicien ou s'ils sont en mesure de solutionner un problème donné (ex. : déblocage).
  - Emballeurs : ils s'occupent normalement de la mise en boîte des produits finis à la sortie du convoyeur de la presse, ainsi que d'opérations de certaines commandes de la presse à injection.
  - Responsables de production : ils démarrent la production sur les presses et effectuent les mises au point nécessaires. Ils interviennent lors de blocage ou de problème de production, ainsi que pour les changements de moules.
  - Électriciens : ils effectuent des réparations de type électrique.

- Mécaniciens-superviseurs/techniciens : ils effectuent des ajustements de production ainsi que la maintenance.
- Plusieurs des entreprises impliquées dans ces accidents/interventions ne possédaient pas de comité santé et sécurité du travail actif ou n'avaient pas de préventionnistes (responsable SST), comme le stipule la LSST pour le groupe prioritaire #2.
- Plusieurs accidents surviennent alors que le monteur-ajusteur est absent ou non disponible, auquel cas c'est une personne non qualifiée pour la tâche qui effectue celle-ci. Cette situation arrive en particulier durant le quart du soir.
- Les interventions sur les presses se déroulent souvent en absence de procédures de travail formelles, établies et sécuritaires. L'intervenant improvise la méthode de travail requise lors de l'intervention, tout en ayant une méconnaissance profonde des risques importants qui sont présents.
  - *Exemple 1* : Un travailleur a grimpé sur une presse pour aller retirer des pièces bloquées dans le moule, en passant la main par-dessus le protecteur mobile verrouillé. Or, la méthode de travail pour un déblocage n'avait pas été établie. Le déblocage a donc été effectué de manière informelle et non structuré.
  - *Exemple 2* : Pour effectuer le changement de la tête du baril d'injection ainsi que le démontage de la pièce de l'unité d'injection (*shut-off pin* du cylindre), les éléments chauffants d'un cylindre devaient demeurer alimentés ; sinon le plastique allait se durcir et coller les pièces de la presse ensemble. Un travailleur est monté sur une plate-forme grillagée, a pris une masse et a frappé sur une pièce afin de la faire sortir. L'autre travailleur s'est placé du côté opposé pour récupérer la pièce. Au moment où la pièce a été déplacée, le plastique dans le baril d'injection a pris feu et a été projeté à l'extérieur du baril, vers le travailleur en hauteur. Ce dernier a reçu du plastique chaud sur la main gauche, il a reculé, a trébuché sur les tuyaux et les câbles situés derrière la plateforme, est tombé au sol et s'est fracturé le coude gauche. À la suite de l'accident, une procédure de travail sécuritaire, incluant la vérification de la température avant et pendant les travaux, a été implantée et formalisée. De plus, lorsqu'un bon de travail est généré pour la tâche de démontage de la pièce de l'unité d'injection, la nouvelle procédure de travail y est incluse automatiquement.
- Des procédures de travail, si elles sont présentes, sont souvent inadaptées et/ou non sécuritaires. Des interventions en mode production (ex. : graissage, pulvérisation de silicone) s'effectuent souvent en accédant à des zones dangereuses.
  - *Exemple 3* : Dans une entreprise, une méthode de travail pour empêcher que la pièce de plastique reste collée au moule consiste, tous les 10-15 cycles, à utiliser un escalier mobile de 3 marches pour permettre à un opérateur de monter sur la plateforme située au-dessus de l'unité hydraulique de la presse. Avec de la silicone en aérosol, l'opérateur procède alors à la lubrification des deux tiges du moule qui sont déployées au-dessus de celui-ci et cette tâche s'effectue alors que la machine est en opération. Une travailleuse a eu trois doigts écrasés alors qu'elle effectuait cette intervention.
- Le contournement de procédures de travail établies et sécuritaires par les intervenants non formés, qui semblent outrepasser leurs rôles et leurs tâches, est un agent causal qui apparaît fréquemment dans les rapports de la CSST. L'opérateur de presse n'a pas été formé pour des

interventions d'ajustement ou de réglage sur les presses et, en théorie, ne devrait pas intervenir. Cependant, pour des raisons non évidentes, l'intervenant déroge à sa tâche habituelle et prévue (ex. : un opérateur qui se limite habituellement à la vérification de la qualité des pièces et qui décide d'intervenir sur la presse pour effectuer un réglage afin de résoudre un problème de qualité, de par sa propre initiative). Si la presse n'est pas munie de protecteurs fixes, verrouillés et/ou de dispositifs de protection efficace, ce type d'intervention devient très dangereux. Se fier à la formation et à l'expérience du travailleur comme principal moyen de réduction du risque n'est pas à privilégier et ce, en tout temps. La situation dangereuse s'aggrave quand le travailleur n'est pas formé ou ne possède pas d'expérience.

- Le contournement de procédures de travail établies et sécuritaires par un intervenant pourtant formé et d'expérience est un autre agent causal qui apparaît dans les rapports de la CSST. Ici, les interventions s'écartent des procédures de travail sécuritaires pour des raisons non évidentes.
  - *Exemple 4* : Le travailleur accidenté formait une travailleuse sur l'opération de la presse lors de l'accident. Comme la travailleuse opérait la presse, le travailleur a tenté de faire un ajustement sur le balancement du pont (plateforme hydraulique à plusieurs buses). Il fallait aligner les buses dans la cavité du moule. Une fois la buse entre ses mains, il a demandé à l'opératrice d'actionner le mécanisme lorsque la presse était en mouvement et ses doigts ont été coincés entre le pont et la presse. La méthode de travail établie n'a pas été respectée : l'ajustement a été fait par un deuxième opérateur contrairement au fait que la presse doit être opérée par un seul opérateur. De plus, un tapis sensible existait. Les dispositifs de protection étaient fonctionnels. Cependant, le travailleur a pu contourner le tapis sensible servant à arrêter la machine lors d'une détection de présence, en se tenant à côté de celui-ci. Il a alors accédé à la zone dangereuse. Le panneau de commande de la presse n'était pas sécuritaire, car les boutons n'étaient pas identifiés pour l'action à accomplir.
- Le contournement des protecteurs sur les presses est souvent cité dans les rapports. Les intervenants grimpent sur la machine en passant par-dessus le protecteur. Un autre type de contournement concerne les dispositifs de protection (neutralisation des interrupteurs de position, valve de sécurité, etc.).
  - *Exemple 5* : Un travailleur s'est coincé la main gauche dans le moule en voulant récupérer la carotte d'alimentation en passant par-dessus le protecteur de la presse. Il voulait inspecter la carotte et, étant de grande taille, il a tenté de récupérer la carotte à la place du robot. La presse était en mode semi-automatique. Par erreur, il a actionné avec la main droite, le bouton de fermeture du moule à la place du bouton de l'ouverture des éjecteurs. L'accès au moule est protégé, au-devant de la presse, jusqu'à une hauteur de 160 cm par un protecteur mobile verrouillé. Le protecteur du dessus du moule n'était pas verrouillé. Le dispositif de verrouillage avait été neutralisé lors de l'intégration du robot afin de permettre son installation, il y a 12 ans, par une firme externe. Cette neutralisation n'a été constatée qu'au moment d'apporter les correctifs à la suite de l'accident.
  - *Exemple 6* : Un mécanicien-superviseur effectuait des ajustements de production au niveau de l'extrudeuse dans le but d'amorcer une nouvelle production. Il a accédé à la zone de moulage pour effectuer une tâche alors que la machine était en mode

automatique. Au moment où le thorax du travailleur était positionné entre les deux sections du moule, l'automate programmable industriel (API) a commandé à l'extrudeuse de refermer le moule. Le travailleur a été mortellement écrasé alors qu'une zone dangereuse était accessible et que les dispositifs de protection étaient tous neutralisés. Des dispositifs de verrouillage étaient installés en mode actionnement négatif et étaient activés lorsque les protecteurs étaient fermés. Il n'y avait pas d'homologation à l'effet que leurs contacts étaient de type à ouverture forcée. Une broche maintenant une valve hydraulique enfoncée a été observée. Des plaques en acier fixées au châssis retenaient la section mobile des interrupteurs de sécurité. Le fonctionnement de la presse était donc permis en tout temps. Une dérivation électrique avait été effectuée pour neutraliser le tapis sensible. Tous les mécaniciens, superviseurs, employeur et chef mécanicien étaient au courant que les dispositifs étaient contournés depuis plusieurs années et que le tapis ne fonctionnait plus depuis quelques mois. Les travaux d'ajustement se faisaient en mode automatique. Le cadenassage n'était pas pratiqué, car on ne pouvait pas couper le chauffage dans l'unité d'injection, puisque cela allait engendrer la solidification du plastique, entraînant un retard de plusieurs heures de la production. Il existait une consigne verbale qui se résumait à : avant d'accéder à la zone du moule, le cycle automatique doit être interrompu en retirant la clé de sécurité pour la durée de l'intervention. Cette clé de sécurité permet à l'opérateur, lorsqu'il la retire, de transférer les commandes en mode manuel et ainsi d'immobiliser les plateaux mobiles. Elle permet également d'activer un loquet de sécurité qui verrouille mécaniquement les moules. Ce loquet, actionné par un vérin pneumatique contrôlé par l'API, est placé à proximité de la barre de sécurité dentelée qui bloque le moule. Le loquet est activé lors de l'actionnement de l'arrêt urgence, l'actionnement d'un des dispositifs de protection ou encore le retrait de la clé de sécurité. Lors de l'accident, la clé de sécurité était à sa place sur la console et la machine était en mode automatique.

- Un autre exemple d'agent causal retenu par la CSST pour expliquer les accidents fait référence aux dispositifs de protection qui sont endommagés ou non adaptés.
  - *Exemple 7* : Un rideau optique est facilement contournable en raison de sa position au sol et de ses dimensions insuffisantes pour empêcher l'accès à la zone dangereuse.
  - *Exemple 8* : En faisant la vérification d'une presse à injection, un technicien s'est fait écraser la main droite entre les moules, alors que la porte d'accès était ouverte. À cause de l'usure sur le micro-interrupteur et du mauvais ajustement de la porte coulissante, le cycle a été remis en marche accidentellement lorsque le technicien s'est appuyé sur le haut de la porte encore ouverte.
- Un élément qui apparaît souvent dans les rapports est l'absence de protecteurs ou de dispositifs de détection de présence (ex. : tapis sensible sur les plateformes) ; c.-à-d., l'utilisation de machines qui sont non conformes aux normes de sécurité relatives aux presses à injection de plastique.
  - *Exemple 9* : Une presse était munie d'un protecteur mobile sans dispositif de verrouillage (panneau coulissant transparent sur l'avant de la machine). De plus, un protecteur, maintenu en place par des aimants et ne respectant pas les caractéristiques d'un protecteur fixe, avait été enlevé.
- Le manque de formation est souvent identifié comme un agent causal.

- Les rapports ont permis de confirmer que les risques principaux demeurent l'écrasement et les brûlures. Ces risques se situent au niveau de la zone du moule et de la buse.
  - *Exemple 10* : La dégradation thermique du thermoplastique ABS utilisé dans une presse à injection a causé une éjection de gaz au moment où un travailleur était en train de chauffer, avec un chalumeau, les débris d'une pièce moulée restée prise dans la matrice. Les gaz éjectés se sont enflammés, infligeant des brûlures au bras et à la main du travailleur.
- Des risques moins évidents ont été répertoriés (chute du panneau de commande lors de la manutention ; projection de pièces ; électrisation).
  - *Exemple 11* : Deux électrisations dans deux usines ont été recensées lorsque les techniciens qui changeaient une bande chauffante (240 V) de la vis sans fin de l'éjecteur ont coupé le serre-câble. Le bouton de commande des bandes chauffantes était en position « marche » et le sectionneur de la machine était actionné. Dans un cas, une chute de 1,5 m du sol s'est produite.
  - *Exemple 12* : Un bloc de métal, coincé dans une presse pour mouler le plastique, a été éjecté et a frappé la jambe d'un aspirant contremaître.
- Majoritairement, le cadenassage n'était pas appliqué dans les entreprises. Il a été noté que la CSST a exigé le cadenassage lors du changement de moule pour un cas. Cependant, l'ensemble des usines n'appliquent pas de procédures de cadenassage lors d'un changement de moule à cause de la nécessité, pour les raisons mentionnées précédemment, de maintenir l'unité d'injection à une température élevée. Il semblerait aussi que les presses ne soient pas conçues pour permettre une séparation de l'alimentation en énergie électrique de l'unité de chauffage et l'alimentation en énergie électrique de la partie hydraulique (c'est-à-dire moteur électrique qui actionne une pompe hydraulique actionnant à son tour les vérins et moteurs hydrauliques).
- Il semble aussi évident que les entreprises n'ont pas effectué d'analyses de risque pour identifier les risques et pour s'assurer de la nécessité et de l'efficacité des moyens de réduction du risque.
- Lorsque des scellés avaient été apposés sur des presses, il a été noté, à plusieurs reprises, que les correctifs étaient apportés 24-48 heures suivant la mise sous scellés. L'efficacité de ces correctifs demeure difficile à évaluer par le biais de ces rapports.

## 4.2 Survol des normes et guides applicables

Cette section présente un survol des risques relatés dans la littérature (normes, guides, règlement) concernant les presses à injection de plastique horizontales et leurs équipements périphériques, ainsi qu'un survol des règles de l'art en matière de sécurité de ces machines et de sécurité des interventions sur ces dernières.

### 4.2.1 Presse et équipements périphériques : risques

Les risques associés aux systèmes « presse – équipement(s) périphérique(s) » sont la combinaison de ceux associés à chacun des équipements du système.

#### Presses à injection de plastique horizontales : risques

Comme le montrent les résultats d'analyse d'accidents, les travailleurs intervenant sur ces presses sont exposés à des risques d'accidents graves. Plusieurs aboutissent à des amputations [17], mais ils peuvent également être mortels. D'après Beauchamp *et al.* [17], les risques d'accident sur ces presses sont majoritairement liés aux mouvements inopinés des éléments de l'unité de fermeture, aux mouvements de l'unité d'injection, à l'existence de nombreux points d'écrasement et de cisaillement, aux courants électriques, aux colliers chauffants et aux matières chaudes pouvant couler ou être projetées dans toutes les directions. Il existe également un risque de chute dû à la présence de fuites d'huile provenant de la presse [17]. De plus, « des risques ergonomiques liés à la manutention de pièces lourdes et à des postures de travail inadéquates (surtout durant l'ajustement et l'entretien de la presse) » [17] subsistent.

#### Équipements périphériques : risques

Des appareils de levage, tels que les palans et les ponts roulants, peuvent réduire la pénibilité de la manutention du moule. Malheureusement, ces appareils sont à l'origine de risques de coincement ou de heurt du travailleur par la charge manutentionnée [18]. D'après Marinatchi et Arsenault [18], les accidents graves et mortels liés à l'utilisation de palans ou de ponts roulants sont souvent liés, entre autres, à une surcharge des élingues et de l'appareil de levage, un usage inapproprié de l'appareil de levage, son mauvais état, la proximité des travailleurs durant les manœuvres. Cependant, pour soulever le moule, le BPF (*British Plastics Federation*) [14] préfère l'utilisation des appareils de levage mentionnés plus tôt à celle des chariots élévateurs. L'usage d'un chariot élévateur altère le contrôle de la charge lorsque le changement de moule s'effectue à deux ou plus, sans oublier les dommages matériels que le chariot élévateur peut causer aux moyens de protection (protecteurs et dispositifs de protection) en place [14]. En plus des appareils de levage, d'autres équipements périphériques comportent des risques pour les travailleurs. Nous focaliserons sur ceux rencontrés lors de nos visites.

Ainsi, les robots récupérateurs de pièces ou de carottes, ainsi que les dispositifs d'extraction de pièces offrent plusieurs avantages dont celui d'éliminer la présence de l'opérateur dans la zone du moule [14, 19]. Cependant, ces équipements peuvent occasionner des dommages corporels importants [14], en raison des risques associés : risque de pincement par leurs préhenseurs, risque de heurt par le robot, par le dispositif d'extraction en mouvement ou par la charge qu'il échappe, risque d'écrasement entre une partie du robot ou du dispositif d'extraction en mouvement et un objet fixe, ou entre deux parties du robot ou du dispositif d'extraction en mouvement [3, 14]. Même si les phénomènes dangereux associés aux robots et aux dispositifs d'extraction de pièces sont similaires, la probabilité et l'importance du dommage qui leur sont associées peuvent différer [14].

Les convoyeurs d'évacuation de pièces, tels que les convoyeurs à courroie, occasionnent des risques d'enroulement, de coincement ou d'écrasement dans un angle rentrant d'un rouleau porteur, d'un tambour d'entraînement ou d'un tambour tendeur [20].

Globalement, d'après la norme *NF EN 201* [21], les équipements périphériques peuvent créer des phénomènes dangereux auxquels il faut remédier :

- éléments en mouvement accessibles à cause de modifications apportées aux moyens de protection initiaux pour faciliter l'intégration ou l'enlèvement d'un équipement périphérique ;
- parties en mouvement accessibles d'un équipement périphérique ;
- visibilité altérée de la presse par l'ajout d'un équipement périphérique ;
- zones d'intervention devenues inaccessibles sur la presse, par l'ajout d'un équipement périphérique.

## **4.2.2 Presse et équipements périphériques : moyens de réduction du risque**

### **Presses à injection de plastique horizontales : moyens de protection**

Si la presse était utilisée sans équipement périphérique, elle devrait comporter les moyens de protection décrits au tableau 2 dont les numéros en indice réfèrent à ceux de la figure 4. Le tableau 2 montre que les deux normes préconisent la plupart du temps les mêmes types de protecteurs par zone dangereuse. Toutefois, contrairement à la norme *NF EN 201:2009*, l'*ANSI/SPI B151.1 – 2007* précise le nom du protecteur à installer ; ce qui permet de visualiser son emplacement sur la presse. De même, le HSE [23] et le BPF [14] conseillent des moyens de protection, similaires à ceux proposés dans l'une ou l'autre de ces deux normes, pour les mêmes zones dangereuses. Les numéros de la figure 4 réfèrent aux protecteurs, par zone dangereuse.

Pour les grandes presses, des moyens de protection supplémentaires sont recommandés [14, 21, 23]. Il s'agit, entre autres, de :

- dispositifs de protection sensibles détectant une présence (ex. : tapis sensible, détecteur surfacique) entre les parties fixe et mobile du moule ;
- dispositifs de commande pour les protecteurs motorisés à mouvement de fermeture horizontal. De tels dispositifs nécessitent une action maintenue satisfaisant les prescriptions de la norme *EN 201* [21] (ex. : visibilité adéquate de la zone du moule depuis l'organe de service, difficulté de neutralisation du dispositif) ;
- élément constitutif (difficilement contournable) du protecteur empêchant sa fermeture lorsqu'un travailleur se trouve dans la zone dangereuse protégée.

Les presses permettant au corps entier d'accéder à l'espace entre le protecteur de l'opérateur (ou le rideau lumineux de la zone du moule) et la zone du moule elle-même sont considérées grandes. Puisque dans notre cas, les presses sont utilisées avec des équipements périphériques, les modifications apportées aux moyens de protection initiaux pour permettre l'installation d'équipements périphériques doivent fournir une sécurité minimalement équivalente à celle d'origine, même si certaines sources [14, 21, 22] se contentent de demander une sécurité équivalente. Les moyens de protection doivent rendre les zones dangereuses du système inaccessibles.

**Tableau 2 – Moyens de protection suggéré par les normes ANSI/SPI B151.1-2007 et NF EN 201:2009.**

Zone dangereuse	Moyens de protection	
	EN [21]	ANSI [22]
Zone du moule (entre les plateaux fixe et mobile)	MV ou MI, BM (3, 4, 6)	- Protecteur de l'opérateur (MV) (3) - Protecteur du côté opposé à l'opérateur (MV) (4) - BM - DES et RL pour les grandes presses
Zone au-dessus du moule	MV ou F (5)	Protecteur de dessus (MV ou F) (5)
Zone de mouvement des mécanismes des noyaux et éjecteurs	F ou MV ou RL (3, 4, 5, 6)	Protecteur de dessus (MV ou F) (5)
Zone du mécanisme de fermeture	MV ou F (si accès requis que pour la maintenance ou la réparation) (1, 2, 11)	F ou MV (1, 2, 11)
Zone de l'ouverture d'évacuation	F ou MV ou DES (12)	F ou M (12)
Zone de la buse	MV ou combinaison : F et MV (7, 8, 9, 10)	- Protecteur de purge non perforé (MV) (7) - Couverture isolante sur le baril d'injection (contre les brûlures cutanées) (8)
<p><u>Légende</u></p> <p><b>F</b> : protecteur <b>Fixe</b></p> <p><b>MV</b> : protecteur <b>Mobile</b> avec dispositif de <b>Verrouillage</b></p> <p><b>MI</b> : protecteur <b>Mobile</b> avec dispositif d'<b>Interverrouillage</b></p> <p><b>BM</b> : dispositif de <b>Blocage Mécanique</b> du plateau mobile (ce « verrou mécanique » [9] protège la fermeture accidentelle du moule)</p> <p><b>DES</b> : <b>D</b>ispositif <b>É</b>lectro-<b>S</b>ensible</p> <p><b>RL</b> : <b>R</b>ideaux <b>L</b>umineux</p> <p>(1, 2, 3, ...) : Numérotation des protecteurs issue de la figure 4</p>		



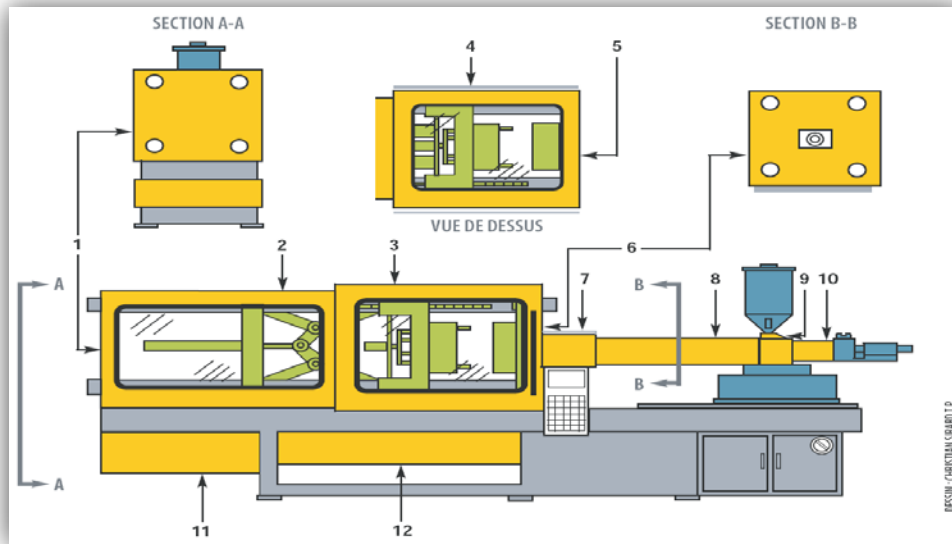


Figure 4 – Protecteurs d’une presse à injection de plastique horizontale [9].

## Équipements périphériques utilisés avec les presses : moyens de réduction du risque

### Palans et ponts roulants

Une grille de l’ASFETM [24] rappelle les points à vérifier sur un palan ou un pont roulant. Un guide de l’ASPHME [18], plus détaillé que la grille précédente, propose des mesures de sécurité à appliquer pour prévenir les accidents liés aux appareils de levage. Ces deux documents outillent les employeurs et travailleurs afin de sécuriser l’utilisation de ces appareils et respecter le Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec (RSST) [16]. En effet, ce dernier exige que tout appareil de levage soit « utilisé, entretenu et réparé de manière à ce que son emploi ne compromette pas la santé, la sécurité ou l’intégrité physique des travailleurs » [16].

### Robots

La norme américaine *ANSI B151.27-2003* [25] suggère des pratiques sécuritaires pour l’intégration, la maintenance et l’utilisation de robots intervenant dans la zone du moule des presses à injection de plastique. Elle demande qu’une inspection visuelle du système « presse-robot » soit faite avant toute intervention sur la machine. Cela permet de constater si le système est endommagé et de s’assurer du bon fonctionnement de la fonction d’arrêt d’urgence par exemple. Elle exige que l’intervenant dans la machine ait la maîtrise du système « presse-robot » afin d’éviter d’être victime d’un démarrage par un tiers. Pour cela, l’application, entre autres, des notions d’ergonomie (ex. : visibilité de la zone dangereuse) dans la conception des machines est primordiale [26, 27]. De plus, le démarrage du robot doit toujours être volontaire, notamment après la remise en place d’un moyen de protection ou la perte d’alimentation en énergie. Chaque poste de commande du système « presse-robot » doit comporter un dispositif d’arrêt d’urgence facilement accessible et utilisé uniquement à des fins d’arrêt d’urgence. L’arrêt d’urgence doit être prioritaire sur toute commande. L’actionnement de tout dispositif d’arrêt d’urgence doit commander l’arrêt de tout le système : la presse, le robot et tous les autres équipements périphériques sources de danger associés à la presse. Le système « presse-robot » doit avoir au moins un moyen de coupure générale d’alimentation en énergie. Ce moyen de coupure doit se trouver à l’extérieur des zones dangereuses du système et doit être cadenassable.

Suvapro [28] recommande que le robot possède des modes de vitesse réduite et de commande pas à pas lors du réglage et de la maintenance. De plus, il recommande un capot de protection sur les petits robots de manutention interagissant avec la presse. À l'instar du capot pour les robots de petites dimensions, il recommande une enceinte de protection pour ceux de plus grande taille. Les portes de l'enceinte doivent être électriquement surveillées. Si l'enceinte comprend des ouvertures, celles-ci ne doivent pas permettre d'atteindre une zone dangereuse. Si le travailleur doit pénétrer dans l'enceinte, la mise à l'arrêt des équipements périphériques qui s'y trouvent doit être sûre, leurs dispositifs de protection exempts de défauts et de contournement. Le BPF [14] émet plusieurs recommandations quant à la conception de l'enceinte. Par exemple, il suggère que l'enceinte soit haute de 2 m et placée minimalement à 45 cm de l'enveloppe maximale de travail du robot. L'équipe de recherche croit toutefois que ces dimensions sont à titre indicatif et que seule une appréciation du risque de l'installation à mettre en place permettra de les déterminer. Par ailleurs, en plus de passer par le contrôleur, le système de verrouillage associé à l'enceinte de protection devrait aussi être géré par un circuit de secours câblé (*hard wired backup circuit*) qui ne sera pas altéré par le système électronique programmable [14]. Néanmoins, les moyens de protection sélectionnés devront également résulter d'une appréciation du risque réalisée de préférence au moment de la conception du robot ou avant son installation [14].

#### Dispositifs d'extraction de pièces

Les dispositifs d'extraction de pièces devraient comporter des protecteurs fixes ou verrouillés qui en empêchent l'accès [14]. Par exemple, pour un dispositif d'extraction de pièces installé au-dessus d'une presse, des protecteurs fixes devraient être installés pour en empêcher l'accès du côté où il place les pièces produites, ainsi que l'accès à la zone du moule par le dessus. Une enceinte de protection similaire à celle des robots peut être installée. Évidemment, elle sera moins grande que celles des robots puisque l'enveloppe maximale de travail des dispositifs d'extraction de pièces est moindre. Une appréciation du risque indiquera le type de protecteur à installer.

#### Convoyeurs

Au sujet des risques inhérents aux convoyeurs à courroie par exemple, Giraud *et al.* [20] proposent d'utiliser des protecteurs fixes adéquats, tels que les protecteurs fixes d'angle rentrant.

#### **Système « presse – équipement(s) périphérique(s) » : prévention intrinsèque**

Des fonctions de sécurité sont attribuées aux moyens de protection susmentionnés (protecteurs verrouillés, enceintes verrouillées). Une fonction de sécurité est une « fonction d'une machine dont la défaillance peut provoquer un accroissement immédiat du (des) risque(s) » [29]. La norme *ISO 12100* [29] considère que les fonctions de sécurité appartiennent aux mesures de prévention intrinsèques appliquées aux systèmes de commande des machines. Par exemple, une fonction de sécurité peut consister à arrêter ou inverser instantanément un ou plusieurs mouvements dangereux à l'ouverture d'un protecteur. Une fonction de sécurité peut également consister à maintenir la valeur d'une vitesse réduite. Dans notre cas, les fonctions de sécurité sont traitées par le système de commande que partagent la presse et ses équipements

périphériques. Il arrive que les fonctions de sécurité soient traitées par des composants de sécurité, des composants dédiés<sup>2</sup> à la sécurité ou des composants standards.

Cependant, l'IFA [30] maintient que l'utilisation de composants non dédiés à la sécurité est à écarter lorsqu'il s'agit de sous-systèmes complexes, tels qu'un API standard, utilisés pour réduire des risques moyens ou élevés et dont les chaînes de redondance sont identiques. Il faut exclure ce genre de sous-système puisqu'ils ne sont pas suffisamment efficaces pour la détection de défauts (défauts cachés pouvant remonter à la conception) [30]. Pour toutes ces raisons et dans pareils cas, l'IFA [30] recommande d'utiliser des API dédiés à la sécurité (APIdS) plutôt que des API. Ces derniers offrent souvent de l'assistance à l'utilisateur (pour éviter des erreurs ou échecs de compilation) lorsqu'il doit le programmer ou le paramétrer et lui permettent d'en protéger l'accès [30]. Enfin, l'IFA [30] affirme qu'intégrer des composants de sécurité ou dédiés à la sécurité plutôt que des composants standards dans la conception d'une fonction de sécurité facilite l'estimation de son niveau de performance. Cette facilitation est due au fait que les composants de sécurité ou dédiés à la sécurité satisfont déjà des exigences de l'estimation du niveau de performance ; ce dernier peut même être fourni avec le composant [30]. Malheureusement, concevoir une fonction de sécurité avec des composants standards est plus ardu : il faut vérifier soi-même la conformité du composant standard aux exigences normatives (ici, la norme *NF EN ISO 13849-1:2008* [31]).

Le manque d'information sur le composant, de la part du concepteur ou du fabricant, est un facteur qui complexifie, voire rend impossible, cet exercice de vérification [30]. Ainsi, il est préférable qu'un intégrateur sécurise une presse à injection de plastique horizontale ou toute autre machine avec des composants de sécurité ou dédiés à la sécurité. Ce sera pour lui une manière d'estimer beaucoup plus facilement le niveau de performance d'une fonction de sécurité de sa machine et ainsi, de quantifier le niveau de réduction du risque apporté par cette fonction de sécurité. Comparer ce niveau de réduction du risque à l'objectif de réduction du risque permettra de savoir si des moyens de réduction du risque supplémentaires sont requis [29, 31].

De surcroît, d'après les principes de conception des circuits de commande traitant des fonctions de sécurité, il est recommandé de séparer les fonctions de commande standard des fonctions de sécurité [34]. Il est préférable de traiter des fonctions de sécurité par une logique câblée plutôt qu'un APIdS : les modes de défaillances des sécurités câblées sont mieux connus que ceux des APIdS [7, 32, 35]. Contrairement à une fonction de sécurité, une fonction de commande standard n'est là que pour contribuer au fonctionnement de la machine en mode de production ou de réglage [34]. Quoiqu'une fonction de sécurité ait pour rôle d'assurer la sécurité de l'utilisateur de la machine, cette garantie (ou fiabilité) n'est pas de 100%. Cela signifie que lorsqu'un travailleur intervient dans la zone du moule en assurant sa sécurité par l'ouverture d'un protecteur, le risque de fermeture intempestive du moule est quand même présent. Cependant, il est acceptable de se dire qu'on est en sécurité si la fonction d'arrêt propre à l'ouverture du protecteur est très fiable. Pour cela, il est important de s'assurer qu'une fonction de sécurité fournit bien la réduction du risque requise par rapport aux phénomènes dangereux dont elle protège l'utilisateur de la machine (le chapitre 6 de ce rapport présente une étude de cas à ce sujet).

---

<sup>2</sup> « dédié » signifie qu'il faut encore fournir une contribution extrinsèque pour franchir la marche amenant l'APIdS au même niveau qu'un composant de sécurité [32]. Comparé à un API, un APIdS est plus fiable : son risque de commande intempestive est peu probable [33].

**Système « presse – équipement(s) périphérique(s) » : méthodes de travail sécuritaires**

Les fonctions de sécurité, telles que les vitesses réduites et les commandes maintenues ou non, peuvent être sollicitées lors de l'exécution de méthodes de travail. Au Québec, selon l'article 186 du RSST [16] :

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

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

Dans un même ordre d'idée, la liste de contrôle de Suvapro [28] invite également à utiliser des modes de vitesse réduite, de commande pas à pas, pour assurer la sécurité des travailleurs sur les presses à injection, lors de réglage et de maintenance. Un autre moyen pour sécuriser des interventions dans la zone du moule est de cadenasser la presse, voire les équipements dangereux situés en périphérie. Selon l'article 185 du RSST du Québec [16], le cadenassage est le moyen imposé au Québec (sous réserve de l'article 186 susmentionné) pour intervenir en zone dangereuse lors de réparation, de déblocage ou de maintenance sur une machine.

Toujours dans l'optique de protéger le travailleur, il faut que son poste de travail et son environnement soient propices : propres, non encombrés, avec un niveau de bruit acceptable ou, si le bruit est excessif, le travailleur doit porter des protecteurs auditifs et un avertissement écrit rappelant aux travailleurs de porter leurs protecteurs auditifs doit être clairement visible [28].

Pour être en sécurité lors de l'**opération** de la presse, tous les protecteurs doivent être remis à leur place et offrir une protection adéquate [23]. Vérifier le bon fonctionnement des moyens de protection est primordial. Par exemple, ouvrir ou enlever tel protecteur avec dispositif de verrouillage doit empêcher le mouvement de fermeture du plateau mobile. C'est ce que propose également l'outil de l'IRSST sur la sécurité des presses à injection de plastique horizontales [9].

Pour sécuriser les interventions de **maintenance**, le HSE [23] recommande des vérifications mensuelles des moyens de protection, plus exhaustives que celles pour l'opération de la presse. Ces recommandations du HSE pour l'opération et la maintenance proviennent du fait qu'un nombre important d'accidents est dû à l'enlèvement de dispositifs de protection fournis avec la presse ou à leur détérioration (surtout lors de la maintenance [14]), ce qui fut corroboré par l'analyse des rapports d'accidents et d'interventions.

Pour sécuriser les interventions de **changement de moule**, le HSE [23] suggère des mesures de prévention à appliquer avant, pendant et après l'intervention. Par exemple, avant de débiter un

changement de moule, il faut désengager l'unité d'injection du moule ; il faut isoler le mécanisme de mouvement des noyaux ou des éjecteurs avant d'y accéder ; l'appareil de levage utilisé pour l'enlèvement et l'installation du moule doit être adéquat. Durant le changement de moule, deux méthodes de travail sont possibles :

1) Changer le moule en utilisant les protecteurs et dispositifs de verrouillage installés.

Le HSE [23] préfère cette méthode. Il suggère de vérifier que le mécanisme de mouvement des noyaux et des éjecteurs reste immobile lorsque le protecteur de l'opérateur est ouvert. S'il faut intervenir dans une zone dangereuse pourvue de moyens de protection, toute partie de la machine doit être immobilisée par l'actionnement de l'arrêt d'urgence, même si les protecteurs et dispositifs de verrouillage fonctionnent. Si, durant le changement de moule, aucun mouvement de la machine n'est requis pour une durée prolongée, il propose le cadenassage.

2) Changer le moule sans utiliser de protecteurs, ni de dispositifs de verrouillage.

Le HSE [23] conseille d'appliquer cette méthode seulement si l'on ne peut procéder autrement. Dans pareil cas, il demande de cadenasser la presse.

De son côté, la caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (CNA) [36], propose une procédure en onze étapes pour le montage de moule : 1) rassembler les parties fixes et mobiles du moule à l'aide d'outils de fixation (ex. : bride) si non munies d'un dispositif de guidage (cette étape se fait à l'extérieur de la presse), 2) accrocher ces deux compartiments réunis à l'appareil de levage, 3) déplacer le moule et le positionner contre l'organe de centrage du plateau fixe, 4) fixer le moule sur le plateau fixe, 5) désengager les crochets et élingues de l'appareil de levage, 6) fermer le protecteur (comme ce n'est pas précisé, nous présumons qu'il s'agit du côté de l'opérateur d'après les visites en usines décrites en 4.3), 7) translater le plateau mobile jusqu'au moule (mouvement de fermeture), 8) ouvrir le protecteur, 9) fixer le moule sur le plateau mobile, 10) enlever les outils de fixation qui réunissaient les compartiments du moule, 11) procéder aux ajustements de la machine. Après un changement de moule, il est recommandé de vérifier le bon fonctionnement des moyens de protection installés en effectuant les mêmes vérifications que suggère le HSE pour la maintenance [23]. Le HSE [23] prend soin de souligner que ces vérifications succédant à un changement de moule n'exemptent pas un travailleur de vérifier le bon fonctionnement des moyens de protection avant d'opérer la presse.

Il est important que le travailleur qui intervient sur le système « presse–équipement(s) périphérique(s) » pour faire de l'inspection, de la maintenance, de la production, du réglage ou autre, soit formé et compétent pour accomplir sa tâche [28]. En tout temps, l'employeur a pour devoir de mettre à la disposition du travailleur les notices d'instruction et de maintenance et les équipements de protection individuelle (EPI) requis pour l'activité qu'il entreprend [28]. Ces EPI peuvent être des protecteurs auditifs ou oculaires, des chaussures de sécurité ou des gants de protection [28]. Le travailleur doit à son tour respecter ces notices d'instruction et de maintenance et porter ces EPI.

### 4.3 Description des visites effectuées et tâches observées

Outre les résultats évoqués précédemment, la revue de littérature a également servi à l'élaboration de l'outil de collecte de données présenté dans sa version finale à l'annexe A. Cet outil est constitué de cinq parties :

- partie A : prise de contact et questions d'ordre général (en salle de réunion) ;
- partie B : identification du système « presse-équipement(s) périphérique(s) » étudié (devant le système) ;
- partie C : information sur la coordination « presse-équipement(s) périphérique(s) » (devant le système) ;
- partie D : identification des risques (devant le système) ;
- partie E : identification des moyens de réduction des risques, essais (devant le système).

En suivant l'outil de collecte de données lors des visites, l'équipe de recherche a interrogé différents intervenants, selon les essais de fonctionnement des moyens de protection et le type de tâche observée. L'intervenant en question pouvait être un responsable SST, un technicien de maintenance ou mécanicien, et un opérateur de presse ou un changeur de moule. Pour pouvoir caractériser les tâches, il est important de les placer dans le contexte dans lequel les visites ont été effectuées (tableau 3). Notons qu'au tableau 3, lorsqu'une seule visite est réalisée à une usine, la visite et l'usine sont identifiées par la même lettre. En revanche, lorsque plus d'une visite est réalisée dans une usine, un chiffre accompagne la lettre représentant l'usine. Au total, huit visites ont été réalisées : la visite préliminaire D1, notamment pour l'élaboration de l'outil de collecte de données et sept visites pour la cueillette de données. Notons qu'à l'usine D, les visites D1 et D2 ont consisté à observer un même système « presse-équipements périphériques », tandis qu'à l'usine F, les deux visites ont permis d'étudier deux systèmes différents.

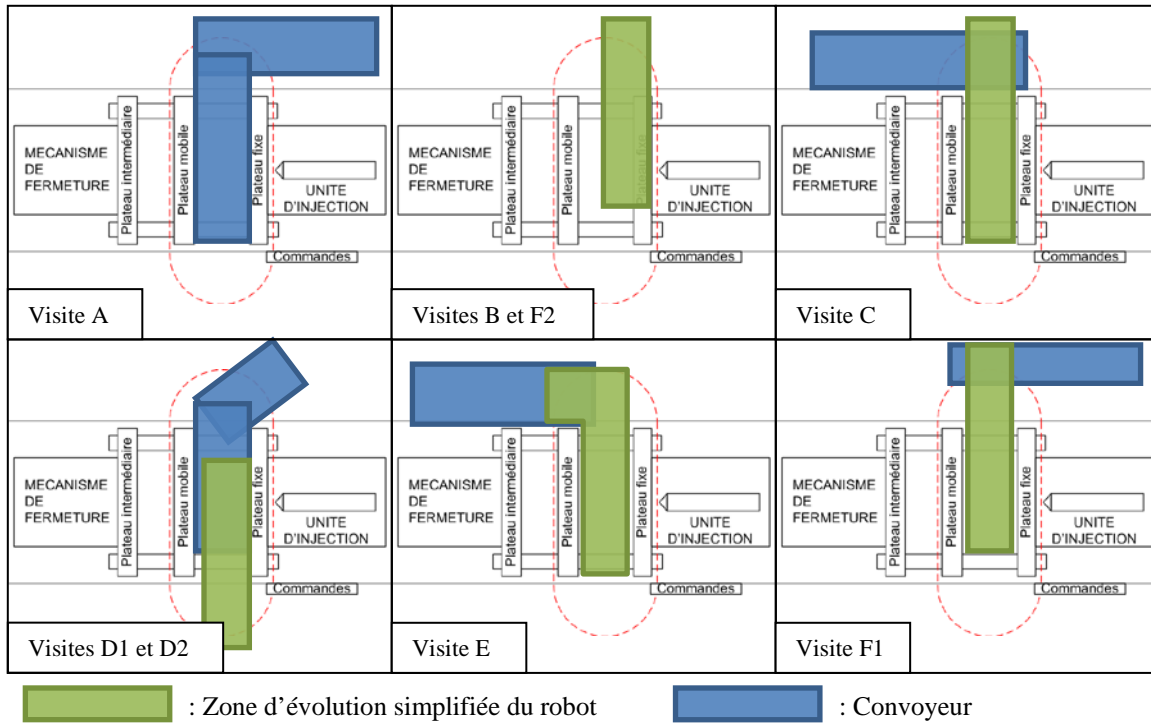
Remarquons tout d'abord, que les usines participantes sont de taille relativement importante. En effet, bien que la majorité des usines du secteur soit constituée de petites et moyennes entreprises (PME), nos efforts (une trentaine d'usines contactées par téléphone ou courriel) pour y effectuer des visites sont restés vains. Par conséquent, les moyens disponibles (matériels et humains) observés peuvent être plus gros que ceux des PME. Néanmoins, les visites effectuées n'en restent pas moins pertinentes, car les risques sont les mêmes sur toutes les presses à injection et les tâches à effectuer également. Ce qui peut varier entre les PME et les grandes entreprises, sont les moyens de réduction du risque mis en place. Ainsi, les risques identifiés dans cette étude (en faisant abstraction de tout moyen de protection en place) sont universels, mais les solutions de réduction du risque observées reflètent sans doute les plus avancées du secteur. Quelque part, l'analyse des rapports d'accident, présentée à la section 4.1, a permis de recueillir de l'information sur les moyens de réduction du risque propres aux usines auxquelles nous n'avons pas eu accès (constitué principalement de PME), en plus d'obtenir des renseignements sur les types d'accident.

**Tableau 3 – Contexte des visites.**

	Visite	Nombre d'employés	Fonction des personnes interrogées	Configuration observée	Tonnage de la presse (tonnes)	Année de fabrication de la presse
<b>Usine A</b>	A	70	Électromécanicien Monteur de moule Coordonnatrice de gestion Directrice SSE	Presse + 2 convoyeurs + Pont roulant*	600	1997
<b>Usine B</b>	B	200	Directeur de production Régleur, monteur de moule Chef mécanicien	Presse + 1 robot 3 axes + Pont roulant	1000	1996
<b>Usine C</b>	C	200	Directeur du département Électromécanicien Responsable des essais de moule	Presse + 1 robot 3 axes + 1 convoyeur + Pont roulant	2200	2002
<b>Usine D</b>	D1	80	Technicien (monteur de moule, réglage, mise en route) Technicien manufacturier	Presse + 1 robot 6 axes + 2 convoyeurs + 1 granulateur	200	2004
	D2					
<b>Usine E</b>	E	100	Mécanicien Coordonnatrice prévention Directeur d'usine	Presse + 1 robot 3 axes + 1 convoyeur + Pont roulant	1000	1998
<b>Usine F</b>	F1	450	Responsable SST Électromécanicien	Presse + 1 robot 3 axes + 1 convoyeur	3500	2008
	F2		Responsable de formation Électrotechnicien	Presse + 1 robot 6 axes	720	1999

\* Bien que toujours présent dans les usines, le pont roulant n'est indiqué dans la configuration que lorsque les tâches observées en nécessitaient un.

Il est à noter que les équipements périphériques indiqués dans les configurations observées sont relativement toujours les mêmes. Cependant, malgré ces apparentes similitudes, il y a, en fait, de nombreuses dispositions possibles de ces machines les unes par rapport aux autres. Les configurations que l'équipe de recherche a observées sont schématisées à la figure 5.



**Figure 5 – Représentation schématique (sans être à l'échelle) des différentes configurations des systèmes « presse-équipement(s) périphérique(s) » observés.**

Ne sont ici représentés que les équipements périphériques interférant avec la zone d'étude délimitée par le trait pointillé rouge. Par ailleurs, les systèmes « presse-équipement(s) périphérique(s) » sont vus de dessus. Il ne faut donc pas oublier la troisième dimension. En effet, les pièces peuvent, par exemple, être récupérées par gravité sur un convoyeur, ou à l'aide d'un robot qui peut passer soit du côté de l'opérateur, soit du côté opposé à l'opérateur, ou encore par le dessus. Bien d'autres paramètres influenceront la position et la taille des équipements périphériques. De plus, nous pouvons remarquer qu'à l'inverse de toutes les autres visites, dans le cas des visites à l'usine D, le robot est situé du côté de l'opérateur. Cependant, dans ce cas comme dans celui de la visite C, le robot passe respectivement dans la trajectoire du protecteur mobile de l'opérateur ou celle du protecteur mobile du côté opposé à l'opérateur (et non par-dessus). Ce choix a pour conséquence de devoir permettre le fonctionnement de la presse à injection alors qu'un protecteur mobile est ouvert. Ce dernier sera alors suppléé par une enceinte de robot.

Maintenant que le contexte général des visites est connu, nous pouvons nous pencher un instant sur les caractéristiques des tâches observées avant d'aborder les résultats répondant aux objectifs principaux de l'étude, à savoir l'identification des composantes du risque et les moyens de réduction du risque mis en place dans les usines. En effet, à l'instar d'une analyse de risque en bonne et due forme qui nécessiterait une étude plus en profondeur, tout risque identifié est lié à la ou les tâches pendant lesquelles les travailleurs sont exposés.

Selon la disponibilité des ressources des usines, nous avons pu effectuer des essais de fonctionnement des moyens de protection (visites A, B, E, F1, F2) et observer les tâches suivantes dont la description précise se trouve à l'annexe B : démontage de moule (visites A, E),



montage de moule (visites A, B, C et E), changement d'inserts (visite D1), nettoyage de moule (visite F1), polissage de moule (visites C et F1), essais de production (visite C).

Les dimensions et la complexité du moule font que la durée d'un changement de moule peut être d'une heure (visite E) ou de plus d'une journée de travail de 7 h (visite C) et nécessiter une personne (visite A) ou quatre personnes (visite C). Les montages et démontages de moule observés lors des visites B et E étaient effectués à deux. Les opérations de nettoyage et de polissage du moule observées requièrent une personne chacune et peuvent être effectuées simultanément. Dans ce cas de figure observé à la visite F1, le moyen de réduction du risque choisi était d'effectuer une condamnation du panneau de commande (cf. section 4.4.1 et chapitre 5). Une autre condamnation a été observée à la visite A, mais pour une intervention nécessitant une seule personne. Cette condamnation consistait à bloquer physiquement la fermeture manuelle du protecteur de l'opérateur à l'aide d'un cadenas (cf. section 4.4.1 et chapitre 5).

Chacune des interventions observées par l'équipe de recherche est planifiée de façon régulière et à des fréquences variées dépendant de la production. Les interventions correctives sont difficiles à observer car, naturellement, elles ne peuvent être prévues suffisamment à l'avance. Il n'en reste pas moins que les huit visites effectuées sont riches en termes d'informations collectées et permettent de dresser un bilan très complet quant aux composantes de risques identifiées, ainsi qu'aux différents moyens de protection mis en place par les usines.

#### **4.4 Composantes du risque et moyens de réduction du risque utilisés en usine**

Les risques observés en usines ont été organisés en une grille à l'annexe C, selon leurs quatre composantes : phénomène dangereux, situation dangereuse, événement dangereux et dommage associé. Les moyens utilisés dans les entreprises pour réduire ces risques ont également été compilés dans cette grille. Cependant, ces moyens de réduction du risque sont principalement d'ordre de la prévention intrinsèque, des moyens de protection (protecteurs et dispositifs de protection) et des EPI. De plus, dans le tableau de l'annexe C, chaque moyen de réduction du risque est accompagné d'un numéro entre parenthèses. Ces numéros correspondent à la composante du risque sur laquelle le moyen de réduction du risque agit. Ce choix du type des moyens de réduction du risque répertoriés dans le tableau s'explique par son caractère pratique : ces moyens de réduction du risque sont souvent génériques, donc peuvent correspondre à plusieurs usines à la fois ; tandis que les autres moyens, selon l'usine visitée, possèdent des particularités qui méritent d'être soulevées. Par ailleurs, même si les moyens de réduction du risque liés aux circuits de commande relatifs à la sécurité des machines visitées sont d'apparence similaires en termes d'entrées et de sortie de leurs fonctions de sécurité utilisées, le traitement de ces dernières est assuré par des composants montés selon des configurations pouvant varier d'un système à l'autre. Ainsi, dans les deux sous-sections suivantes, nous prendrons connaissance des moyens de réduction du risque utilisés, autres que ceux de l'annexe C, ainsi que des différentes configurations de systèmes de commande rencontrées. Nous constaterons en 4.4.1 que la sécurité des travailleurs observés dans la zone du moule dépend majoritairement du bon fonctionnement du système de commande, en raison de l'utilisation importante de fonctions de sécurité. Il est donc important de se pencher sur ces configurations, afin d'en comprendre les points forts et les points faibles.

#### 4.4.1 Autres moyens de réduction du risque utilisés

##### Avertissements et signalisation

Divers écriteaux ou inscriptions se retrouvent sur les équipements pour signaler des risques d'accident (figure 6). Par exemple, en plus d'expliquer la présence d'éléments mobiles à grande vitesse, l'inscription de la figure 6 met l'utilisateur de la presse en garde face aux dommages possibles d'écrasement de parties corporelles ou de décès. Pour éviter de tels dommages, l'inscription demande d'éviter d'opérer la presse avec les protecteurs ouverts ou enlevés et d'accéder aux zones dangereuses de la machine tandis qu'elle fonctionne.



Figure 6 – Inscription de mise en garde placée sur le bâti de la presse.

Cette inscription en anglais est utilisée dans une usine où certains opérateurs ne comprennent pas cette langue. Par mesure de sécurité, il est souhaitable que les inscriptions soient dans la langue comprise par tous les travailleurs. Dans le cas où l'affiche est celle d'origine de la machine et écrite dans une langue étrangère, un écriteau traduisant l'affiche dans la langue des travailleurs peut être apposé à côté.

Lors d'anomalies (ex. : arrêt d'urgence enclenché, protecteur de l'opérateur ouvert), la console de la presse en informe l'utilisateur de la machine par un affichage d'alerte. Pour certaines usines dont les portes d'enceinte de protection du robot comportent un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage, des voyants lumineux informent de l'autorisation d'y accéder (voir l'inscription : *“Permission to enter protected area”* de la figure 7; cette inscription signifie : « Permission d'entrer dans la zone protégée »).

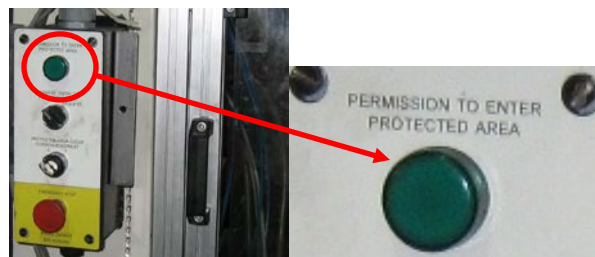


Figure 7 – Voyant lumineux vert informant de l'autorisation d'ouvrir la porte de l'enceinte.

##### Méthodes de travail

Les usines visitées n'ont pas de procédures expliquant les étapes pour réparer la presse, changer le moule, le nettoyer, entreprendre des essais de production, installer des *inserts*, mais possèdent

des mesures de sécurité écrites que doit appliquer le travailleur pour intervenir de manière sécuritaire dans la zone du moule. À la lecture de ces mesures, nous constatons qu'elles se classent en trois types : **1)** utilisation d'une procédure "condamnation-cadenassage partielle", **2)** utilisation de fonctions de sécurité, **3)** inspection. Ces trois types de mesures caractérisent les interventions de maintenance et de production observées dans la zone du moule. Durant l'observation des tâches, nous avons remarqué des méthodes de travail comportant des mesures sécuritaires pouvant servir d'exemple, tout comme des mesures à proscrire.

#### Utilisation d'une procédure de "condamnation-cadenassage partielle"

À l'usine A, une procédure de condamnation-cadenassage partielle est proposée pour les changements de moule. Ce cadenassage partiel consiste à apposer un cadenas sur le protecteur de l'opérateur (mobile verrouillé) et son rail, de manière à empêcher sa fermeture (figure 8). Cette procédure permet d'éviter la fermeture accidentelle du protecteur de l'opérateur qui, fermé, autorise le mouvement des éléments mobiles de la zone du moule. À cette procédure de condamnation du protecteur de l'opérateur devrait être rajouté le cadenassage proprement dit des convoyeurs périphériques à cette zone (figure 9), pour éviter leur démarrage inattendu alors que l'opérateur se trouve sur ces derniers pour accéder à la zone du moule. Un démarrage intempestif du convoyeur créera un dérapage du travailleur qui de ce fait, se heurtera éventuellement contre le cylindre de guidage de la zone du moule.



**Figure 8 – Condamnation-cadenassage partielle : le cadenas bloque le protecteur de l'opérateur sur son rail.**



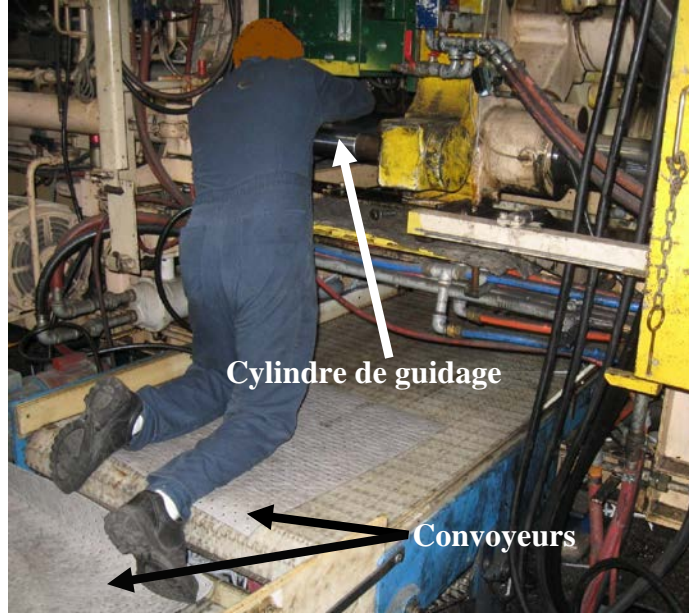


Figure 9 – Travailleur installant un moule en s’agenouillant sur un convoyeur.

À la visite F1, lors du polissage et du nettoyage du moule (maintenance préventive), les différents intervenants ont condamné l’accès au panneau de commande en y installant une plaque en plexiglas. Cette plaque a été cadénassée et la clé unique du cadenas a été enfermée dans une boîte de cadénassage sur laquelle chaque intervenant a apposé son cadenas personnel (figure 10).

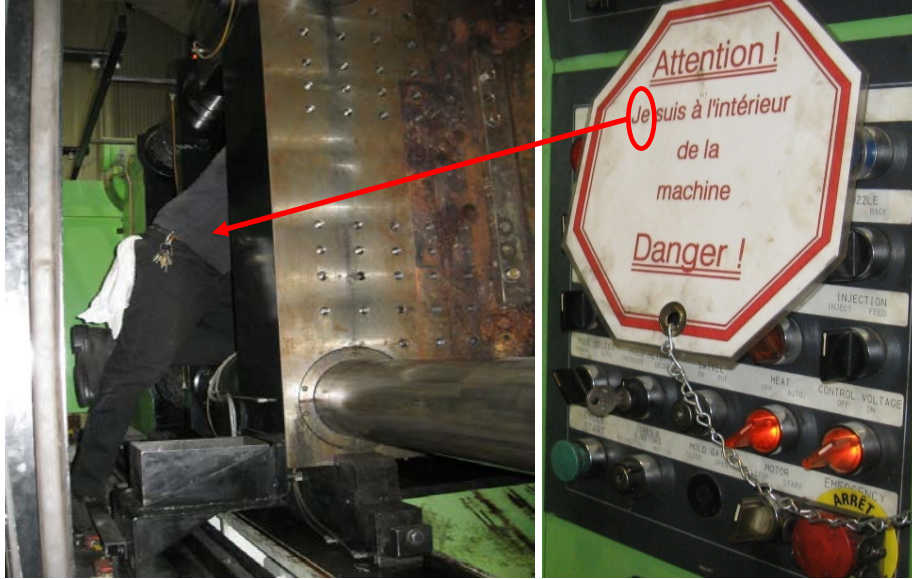


Figure 10 – Condamnation-cadenassage partielle : cadénassage de groupe (1) et du panneau de commande (2).

Certaines des usines, notamment A, B, C et D appliquent des procédures de cadenassage pour les presses ou leurs équipements périphériques. Cependant, ces procédures ne sont utilisées que pour des tâches de maintenance importante ou de réparation. Une des procédures a retenu l'attention, car elle limite le cadenassage seulement à l'énergie électrique de la presse (cadenassage de disjoncteurs). Il ne faut pas oublier les énergies hydraulique, pneumatique et autres pouvant être libérées intempestivement durant l'exécution d'une tâche. Une analyse du risque de la machine doit être effectuée pour savoir quelles énergies menacent la sécurité des travailleurs lors d'une tâche précise et comment s'y prendre pour isoler et condamner ces énergies. Il faut penser aux énergies sources de danger provenant des équipements périphériques (ex. : robot, convoyeur, granulateur). Les travailleurs rencontrés nous ont dit qu'ils ne cadenassaient jamais les robots et convoyeurs avoisinant la zone du moule lorsqu'ils y travaillent. Ils se contentent de mettre l'équipement périphérique à sa position initiale de démarrage (cas des robots), puis de l'éteindre ou de le débrancher. Dans le cas où l'on débranche l'équipement, nous recommandons de mettre la fiche électrique dans un dispositif de cadenassage sur lequel on appose un morillon cadenassé serait plus prudent pour éviter qu'un tiers ne rebranche l'équipement.

#### Utilisation de fonctions de sécurité

La condamnation-cadenassage partielle présentée plus haut implique l'utilisation de différentes fonctions de sécurité, telles que celles liées au protecteur de l'opérateur et celles liées à la barre mécanique de blocage (ou barre d'arrêt mécanique). Ces fonctions de sécurité empêchent chacune un mouvement d'un élément mobile dans la zone du moule : plateau mobile, noyaux, éjecteurs. Ces mêmes types de fonction de sécurité, notamment celles liées au protecteur de l'opérateur sont très sollicitées lors de l'exécution des tâches observées au cours des visites. Une autre fonction de sécurité sollicitée est la fonction « arrêt d'urgence ». Aux usines B et D, la procédure d'intervention dans la presse ou dans l'enceinte du robot exige l'actionnement de l'arrêt d'urgence après avoir effectué un arrêt simple de tous les moteurs et pompes de la presse et de son robot. De plus, à l'usine B, la procédure veut que l'affiche (figure 11) témoignant d'une présence humaine dans la presse soit apposée (avec du velcro déjà prévu à cet effet) sur la console de la presse. Les observations ont montré que cette façon de faire était respectée à ces deux usines.



**Figure 11 – Panneau témoignant de la présence d’un travailleur non visible dans la presse.**

### Inspection

L’usine D exécute une inspection journalière sommaire de son pont roulant. À l’usine C, une inspection annuelle du pont roulant s’effectue à l’interne. D’autres usines font inspecter leur pont roulant à l’externe (fabricant ou sous-traitant), il s’agit de l’usine F (4 fois/an) et des usines A, C (en plus de l’inspection interne), D et E (1 fois/an). L’usine B a omis d’inspecter son pont roulant, mais a reconnu que cela doit être fait.

Une inspection des moyens de protection se réalise dans au moins trois des usines. Dans au moins deux d’entre elles, cette inspection est exigée. Selon les usines, cette inspection se fait chaque trimestre, chaque jour ou après un changement de moule ou une opération de maintenance importante sur la presse. Idéalement, il faudrait réaliser une telle vérification avant et après toute intervention dans la zone du moule, au même titre que l’inspection pour le changement de moule recommandé par le HSE [23]. L’inspection avant l’intervention permet au travailleur d’assurer sa sécurité, tandis que celle d’après est importante pour vérifier que le fonctionnement des moyens de protection n’ait pas été altéré.

Les changeurs de moules observés effectuent une vérification visuelle de l’état des accessoires de levage et de fixation du moule avant de les utiliser. Malheureusement, il est arrivé qu’un changeur de moule utilise un crochet malgré la défektivité de son linguet. Même si deux crochets supportent le moule, si le linguet défektivue se désengage, un relâchement partiel du moule surviendra, ce qui pourrait heurter quelqu’un.

En plus des mesures de réduction du risque susmentionnées, nous en présentons d’autres que nous avons observées, au tableau 4. Elles facilitent ou sécurisent l’exécution des trois types de procédures présentées (c’est-à-dire, l’utilisation d’une procédure "condamnation-cadenassage partielle", l’utilisation de fonctions de sécurité et l’inspection).

**Tableau 4 – Moyens de réduction du risque facilitant l’exécution des procédures présentées.**

Visites	Moyens de réduction du risque
<b>B</b>	Protection contre un démarrage par un tiers : procédure d’arrêt de la presse et de ses équipements périphériques + verrouillage du bouton d’arrêt d’urgence avec une clé que gère l’opérateur introduisant une jambe ou plus dans la presse
<b>B D1</b>	Stratégies de travail développées pour réduire le nombre d’allers-retours entre le côté de l’opérateur et celui opposé à l’opérateur (lors du montage de moule)
<b>B</b>	Inscription de repères visuels sur le moule pour faciliter le branchement des flexibles (ainsi, réduction de l’effort cognitif du travailleur et accélération de son travail)
<b>C</b>	Inscription des lieux de connexion des câbles électriques pour faciliter le branchement électrique du moule (ainsi, réduction de l’effort cognitif du travailleur et accélération de son travail)
<b>A C</b>	Respect des règles de manutention des charges avec un pont roulant (article 255 du RSST [16]) (figure 12, ci-dessous)
<b>D1</b>	Éteindre le moteur hydraulique avant de pénétrer dans la zone du moule et l’enceinte du robot
<b>E</b>	Clé nécessaire pour l’avance manuelle du moule disponible seulement aux changeurs de moules
<b>E</b>	Clé nécessaire pour réarmement dans les cas où le robot dépasse ses axes. Clé disponible seulement au responsable de l’entretien
<b>F1</b>	Accès limité pour l’activation et la désactivation du robot : les employés possèdent des cartes offrant des niveaux d’accès différents selon leur fonction dans l’entreprise. Seule une carte de niveau « électromécanicien » ou plus permet d’activer ou non le robot.



**Figure 12 – Exemple de manutention d’un moule avec un pont roulant.**

## Formation

Aux usines A et D, il a été remarqué, au cours d'échanges avec un directeur et des travailleurs, que ceux-ci étaient conscients des risques auxquels ils s'exposaient durant l'exécution de leurs tâches et dans l'usine en général. Cette sensibilisation aux risques, visible de par les échanges et les comportements observés, s'est ancrée en eux grâce à leur implication dans le processus de gestion des risques dans l'usine. Leur implication a contribué à les former en sécurité au travail.

La plupart des usines forment leurs employés à l'utilisation des appareils et accessoires de levage. En termes de formation, l'usine C s'est démarquée : au cours d'un entretien avec le directeur de l'usine, nous avons noté qu'il insistait beaucoup sur la formation (ex. : SST, ponts roulants, chariots élévateurs, secourisme, électromécanique). Le directeur profite des périodes creuses en production pour envoyer des employés en formation théorique et pratique, d'où une bonne gestion du temps et des ressources. Il croit fermement en la formation continue de ses employés, car il affirme que plus on est formé, moins on est vulnérable. Ce qui rejoint la littérature sur le sujet : « vu les nombreux risques qui subsistent sur les presses à injecter, on ne saurait trop insister sur l'importance de la formation des opérateurs et des travailleurs œuvrant dans le voisinage de ces équipements » [17].

## Information

Si l'information contenue dans les notes de formation est riche, il faut quand même s'assurer que le formateur transmette adéquatement l'information. Par exemple, il est arrivé malheureusement qu'un formateur dise à un électromécanicien rencontré lors d'une visite : « La presse est 4 ». En discutant avec lui, il a été compris qu'il voulait dire : « Cette presse est de catégorie 4 ». La notion de catégorie<sup>3</sup>, expliquée dans la norme *ISO 13849-1* [31], est une caractéristique réservée à des composants de sécurité et des fonctions de sécurité, mais pas à une machine dans son ensemble. Cet électromécanicien, très compétent dans la conception de systèmes de commande standard n'avait malheureusement pas employé le terme exact concernant une notion propre aux systèmes de commande relatifs à la sécurité.

Ce qui fut dommage de constater dans une des usines était l'absence de plans d'intégration d'équipement. Heureusement que la plupart des usines possédait les plans initiaux de leurs machines et ceux après l'intégration d'équipements périphériques. Il est bon de documenter, par des plans et par écrit, toute modification faite au circuit de commande des machines. Cela permet de laisser des traces lorsqu'un nouveau travailleur désire comprendre comment les installations ont été pensées et réalisées, soit pour sa connaissance personnelle, soit pour faciliter les réparations ou modifications de la machine. Avoir de l'information sur le circuit sur lequel il faut intervenir est un moyen de réduction du risque d'accident. Disposer des plans de la machine pour y intervenir augmente les chances de succès de la réparation ou de la modification. Aussi, à long terme, si le personnel change, le successeur pourra se retrouver plus facilement dans le circuit de commande de la machine.

---

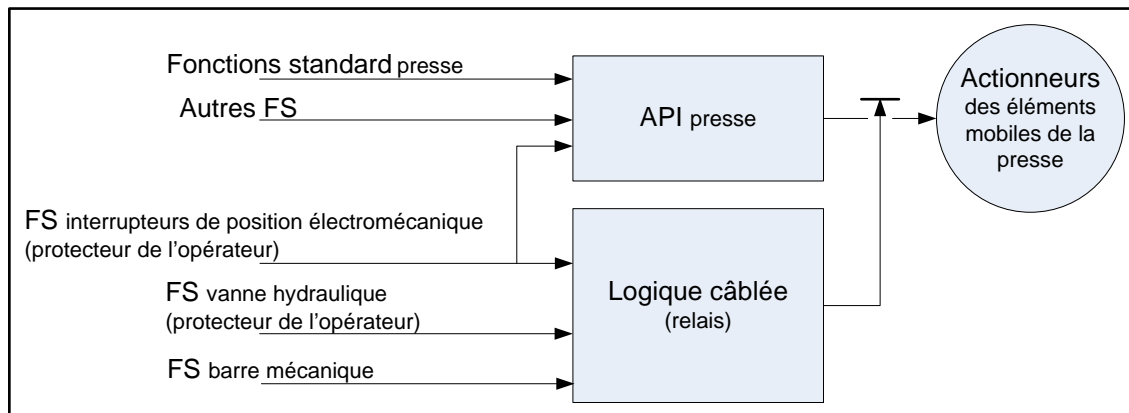
<sup>3</sup> On entend par « catégorie » la classification des parties des systèmes de commande relatives à la sécurité (SRP/CS) selon leur architecture, leur résistance aux défauts et leur manière de réagir après un ou plusieurs défauts [31].



#### 4.4.2 Constat terrain sur les systèmes de commande relatifs à la sécurité

Comme expliqué plus tôt, nous allons nous pencher sur les configurations rencontrées lors des visites. Elles sont schématisées à partir d'explications des participants interrogés lors des visites. Pour la visite F1, il a été possible de consulter les plans de la presse et de son robot. Cette consultation a confirmé la configuration préalablement schématisée à partir des échanges avec les travailleurs participant à l'étude. Les échanges avec les interlocuteurs des entreprises ont également contribué à s'informer sur l'approche utilisée pour intégrer des composants et des équipements périphériques à la presse.

Les échanges avec les participants ont permis de constater que la communication entre la presse et les composants intégrés s'entend selon trois configurations possibles illustrées aux figures 13, 14 et 16.

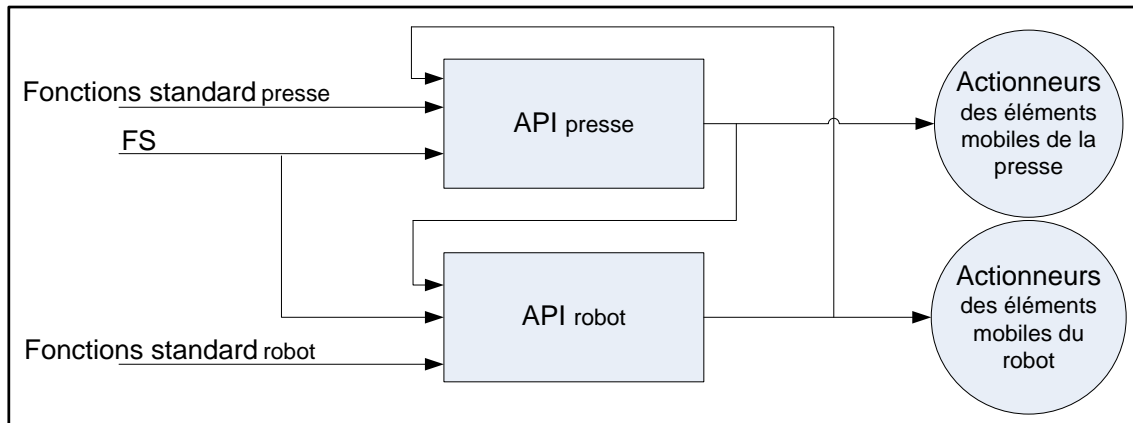


**Figure 13 – Schéma de la configuration d'un système de commande composé d'un API et d'un module de logique câblée (usine A).**

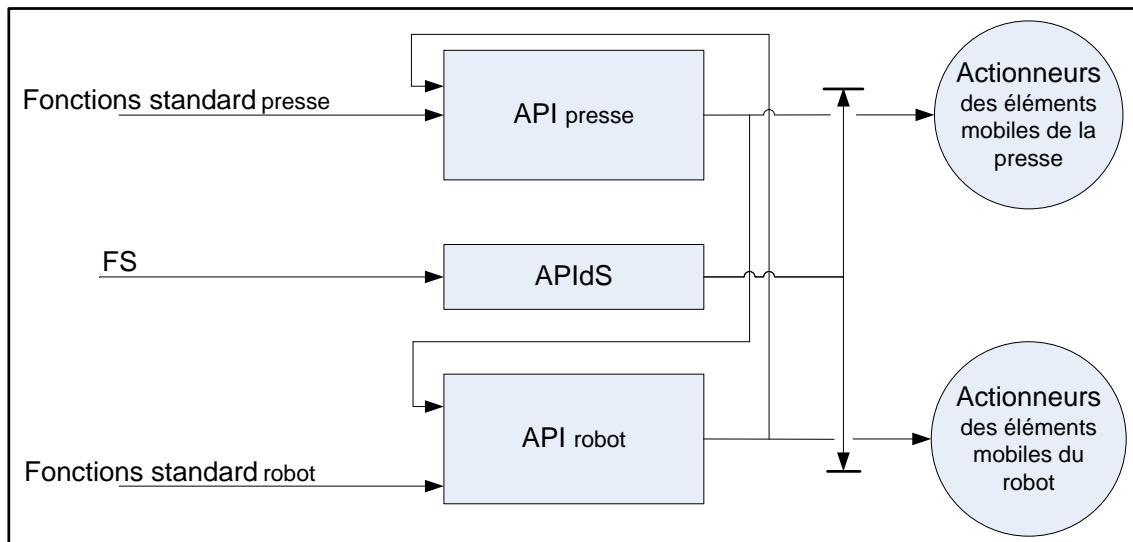
En examinant la figure 13, nous constatons que si l'API de la presse défaille dangereusement, les commandes de fonctions de sécurité à son entrée ne seront pas exécutées, elles ne pourront donc pas arrêter, ni empêcher le mouvement des éléments mobiles. Heureusement que les fonctions de sécurité liées au protecteur de l'opérateur et à la barre de blocage mécanique passent par la logique câblée (cela crée une redondance). Si nous ouvrons ce protecteur, malgré la défaillance de l'API, les relais ouvriront le circuit, ce qui désactivera les actionneurs des éléments mobiles de la presse. Cette configuration est sécuritaire seulement par rapport aux fonctions de sécurité du protecteur de l'opérateur et de la barre de blocage mécanique : si nous actionnons l'arrêt d'urgence ou toute autre fonction de sécurité, rien ne s'arrêtera en cas de défaillance de l'API<sub>presse</sub>, car ils font partie de la catégorie « Autres FS » indiquée sur le schéma précédent (FS signifie « fonction de sécurité »). Le mieux serait de raccorder toutes les fonctions de sécurité à la logique câblée, encore faut-il que ces fonctions de sécurité restent simples.

Les API présentés aux figures 13, 14 et 16 traitent à la fois des fonctions standard et des fonctions de sécurité. Pour les raisons évoquées à la section 4.2.2, il est préférable de séparer le traitement des fonctions de sécurité de celui des fonctions standard et d'utiliser une logique câblée pour les fonctions de sécurité (comme pour l'usine A). Cependant, lorsque le système à

sécuriser est complexe et que le nombre de fonctions de sécurité est considérable, un APIdS peut être utilisé [33], mais pas un API. Même si l'APIdS peut gérer à la fois les fonctions de sécurité et les fonctions standard, il est préférable que toutes les fonctions de sécurité soient gérées seules, par l'APIdS. Malheureusement, les participants aux visites ne pouvaient confirmer si leur API était un APIdS : ce terme leur était méconnu. En tenant compte des propositions de la littérature, les figures 15 et 17 suggèrent des améliorations en termes de sécurité, pour les configurations des usines B, C, D, E et F. Effectivement, on remarque dans ces propositions que les fonctions standards sont maintenant traitées par les API seuls, tandis que les APIdS traitent les fonctions de sécurité.



**Figure 14 – Schéma de la configuration d'un système de commande composé de 2 API qui interagissent : 1 pour la presse et 1 pour le robot (usines B, D, E et F).**



**Figure 15 – Suggestion d'amélioration pour la configuration des usines B, D, E et F.**

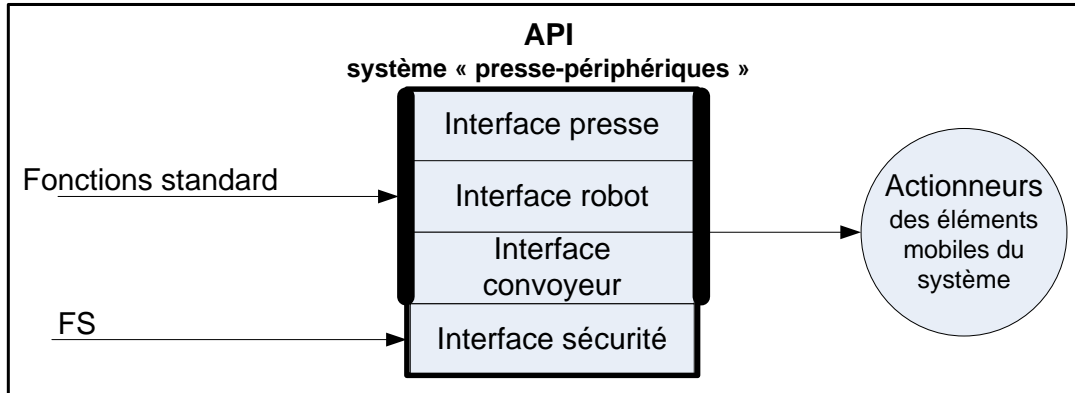


Figure 16 –Schéma de la configuration d'un système de commande ayant un même API pour la presse et ses équipements périphériques (usine C).

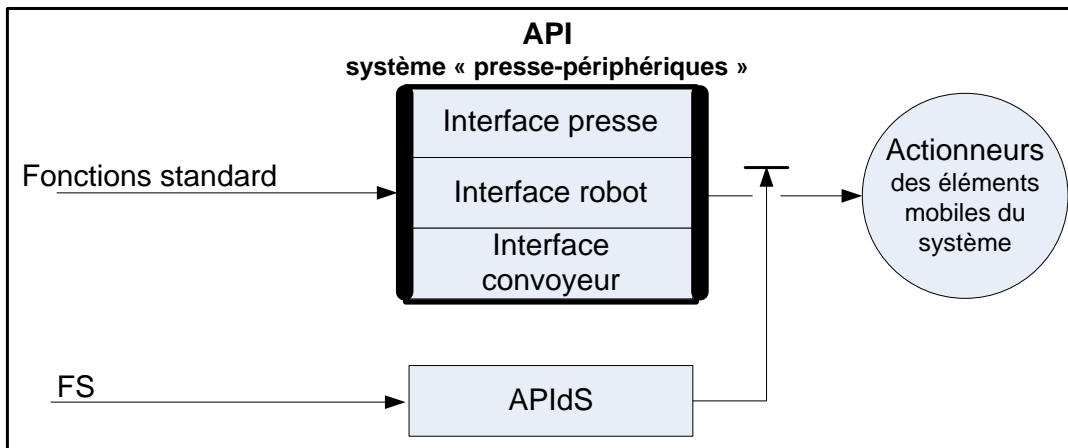


Figure 17 – Suggestion d'amélioration pour la configuration de l'usine C.

Quant à l'intégration des équipements périphériques au système de commande de la presse, il est ressorti d'une manière générale que seul le robot était intégré à la presse. Les convoyeurs étaient souvent indépendants du système, à l'exception du convoyeur de l'usine C qui était intégré au système, mais seulement pour le mode automatique. À cette usine par exemple, activer un arrêt d'urgence depuis un bouton autre que celui du convoyeur le rendra immobile, mais seulement si on est en mode automatique. Par ailleurs, il a été observé à la visite F1, que le convoyeur se mettait en mouvement de temps en temps, inopinément. Il s'agit d'un fait risqué puisqu'il arrive qu'un intervenant marche sur le convoyeur pour accéder à son armoire électrique. Ce problème de démarrage inopiné doit être résolu et une autre voie d'accès à l'armoire électrique doit être envisagée. Le tableau 5 résume le contexte dans lequel s'est entrepris l'intégration des équipements périphériques ou du bloc programmable au système de commande de la presse.

**Tableau 5 – Vue d’ensemble du contexte d’intégration aux presses.**

Visite	Presse conçue pour recevoir un équipement périphérique ?	Intégration par un employé de l’usine	Intégration par le fabricant (f) de l’équipement ou une firme externe (e)	Intégration à partir des plans
A <sup>Δ</sup>	Non	Oui (bloc de relais)	Non	Oui
B	Oui	Oui (robot)	Oui (robot) (f)	Oui
C	Oui	Oui (robot + convoyeur en mode automatique)	Oui (robot) (f)	Oui (robot), Non (convoyeur)
D <sup>Δ</sup>	Oui	Oui (robot)	Oui (robot) (f)	Oui
E <sup>Δ</sup>	Oui	Non	Oui (robot) (f)	Oui
F1 <sup>Δ</sup>	Oui	Non	Oui (robot) (f)	Oui
F2	Oui	Oui (robot)	Oui (robot) (e)	Oui

<sup>Δ</sup> Convoyeur(s) (inclus dans la zone délimitée par l’étude) indépendant(s) du système de commande de la presse et de celui du robot.

Lors des visites, même si les participants rencontrés étaient conscients des dommages graves liés aux presses, certains ignoraient et d’autres ne maîtrisaient pas l’aspect validation de leur intégration ou conception. Ils prenaient pour acquis que les composants intégrés étaient de telle catégorie, car ils trouvaient complexe de vérifier le niveau de catégorie réellement atteint, les normes existantes étant difficiles à comprendre et à appliquer selon eux. Certains intégrateurs rencontrés lors des visites (des électromécaniciens) ignoraient l’existence, la définition et l’importance de la notion « niveau de performance d’une fonction de sécurité » (notion permettant d’estimer la fiabilité d’une fonction de sécurité et de vérifier l’atteinte du niveau de réduction du risque requis). D’autres la connaissaient un peu, mais ignoraient comment estimer, *a posteriori*, le niveau de performance d’une fonction de sécurité. Il leur arrivait de se faire questionner sur le niveau de sécurité (la fiabilité) de leur intégration. Cette constatation sur le terrain explique la raison d’être du chapitre 6 du rapport.

En effet, le chapitre 6 présente une démarche de validation *a posteriori* d’une fonction de sécurité d’une presse à injection de plastique horizontale, utilisée sans équipement périphérique. Cette fonction de sécurité a été conçue selon le principe de logique câblée. Un API gère les fonctions standards de la presse. La partie traitant de la fonction de sécurité est donc dissociée de celle traitant des fonctions standard. Cette démarche consiste à étudier la faisabilité d’un tel exercice de validation, en estimant *a posteriori* le niveau de performance d’une fonction de sécurité afin d’en apprécier la fiabilité.

Il est important de considérer la sécurité de l’humain dès la conception d’une technologie : la prévention intrinsèque. Le chapitre 6 est donc l’occasion de sensibiliser les intégrateurs et les concepteurs à l’importance d’adapter la fiabilité d’une fonction de sécurité d’une machine au niveau requis de la réduction du risque pour l’utilisateur de la machine. Cependant, avant d’aborder ce sujet, le chapitre 5 présente des discussions sur les moyens de réduction du risque rencontrés dans les usines, en suscitant quelques réflexions.

## 5. DISCUSSION

Nous aurons compris que par leur principe de fonctionnement, les presses à injection de plastique sont des équipements pouvant exposer les travailleurs à des phénomènes dangereux importants. La mise en contexte et les résultats de l'analyse des accidents présentés au début de ce rapport illustrent bien cette réalité et permettent de mettre en évidence la nécessité de poursuivre les travaux pouvant aider à en améliorer la sécurité. L'ensemble des informations colligées dans cette étude permet également de dégager une vision plus concrète de la réalité vécue par les travailleurs de ce secteur, qui sont exposés à des situations dangereuses pouvant parfois mener à des conséquences dramatiques. La lecture des normes, des fiches techniques et autres documents de référence, l'analyse d'accidents ainsi que les visites en entreprises sont autant de sources importantes de renseignements pouvant aider dans la description de la réalité du contexte de travail de ces équipements.

### 5.1 Normes et documents de référence

Si les risques présents sur les presses à injection sont relativement bien connus et que plusieurs solutions sont déjà présentées dans de nombreux documents tels que les normes, des questions subsistent toutefois quant à l'utilisation simultanée d'équipements périphériques pouvant eux aussi exposer les travailleurs à d'autres situations dangereuses. Ces équipements périphériques (robots, convoyeurs, granulateurs, appareils de levage, escabeaux, escaliers, etc.) sont eux aussi l'objet d'études et de recommandations issues de nombreux ouvrages, mais étonnamment, même si les rapports d'accidents montrent que les accidents du secteur de la plasturgie peuvent trouver leur origine dans l'interaction de ces équipements avec une presse à injection, l'adéquation entre les solutions généralement proposées et cette cohabitation reste pratiquement inexplorée.

Les risques générés par chacun de ces équipements périphériques et les situations qui en découlent sont normalement couverts par différents documents distincts (normes et guides sur les convoyeurs, les robots, les ponts roulants, etc.), mais jamais à notre connaissance le contexte de travail dans lequel ces équipements sont utilisés conjointement avec une presse à injection n'a encore été considéré.

À cette réalité s'ajoute également le contexte de travail réel pour la réalisation de certaines tâches. Bien que les documents normatifs préconisent pour la plupart des solutions bien adaptées aux tâches réalisées dans le cadre de la production des biens, les recommandations normatives pour certaines interventions ne sont pas toujours aussi bien adaptées aux besoins des travailleurs. À titre d'exemples, la norme *EN 201* [21] préconise la coupure des éléments de chauffage lorsque l'arrêt d'urgence est actionné. Or, cette recommandation n'est pas appliquée dans plusieurs cas pour des questions pratiques. Aussi, les recommandations relatives aux ouvertures permises de la zone d'évacuation pourraient, dans certains cas, ne pas permettre la sortie de certaines pièces.

## **5.2 Synthèse des accidents**

L'analyse des accidents réalisée dans le cadre de ce projet a mis en évidence plusieurs lacunes relatives, notamment, à l'application rigoureuse des procédures par les travailleurs ou au contournement des dispositifs de protection. Elle permet également de rendre compte d'une réalité dans laquelle les besoins des travailleurs ne sont pas toujours considérés pendant la conception et la mise en œuvre des moyens de réduction du risque.

### **5.2.1 Procédures de travail**

L'absence de procédures formelles, identifiée dans plusieurs cas d'accidents, renvoie directement à un manque d'organisation dans le travail. D'autre part, s'il est si fréquent que les procédures de travail, lorsqu'elles existent, ne soient pas ou soient mal appliquées, dans plusieurs cas, c'est l'absence de fonctions particulières, développées, à la conception, spécifiquement pour faciliter le travail qui rend ces contournements nécessaires. Ces accrocs aux procédures peuvent aussi trouver leur origine dans l'ignorance même de leur existence par les travailleurs, mais force est de constater que même les personnes d'expérience ou ayant une responsabilité au regard de la sécurité dans l'entreprise ne les respectent pas toujours. Il arrive même, dans certains cas, que les procédures, par manque de connaissance ou à la suite d'un choix mal avisé, puissent mettre les travailleurs qui les respectent en danger, les exposant ainsi aux risques principaux identifiés tels que l'écrasement et les brûlures

Cette réalité met en évidence des problèmes tels que le manque de formation dans le domaine de la sécurité, une perception erronée des risques ou un manque de ressources appropriées pour atteindre les objectifs de sécurité. Ce genre de difficultés vécues par les entreprises de toute taille déborde du sujet de l'étude, mais devrait néanmoins être considérées dans d'autres travaux du fait du nombre élevé de cas dans lesquels cette « cause fondamentale » est identifiée.

### **5.2.2 Gestion du risque**

#### **5.2.2.1 Absence, mauvais fonctionnement et incompatibilité**

L'analyse des accidents a aussi mis en évidence que dans de nombreux cas, les moyens de réduction du risque tels que les protecteurs et les dispositifs de protection sont absents, endommagés, non-fonctionnels ou incompatibles à la situation de travail. Les causes de cette situation sont semblables aux problèmes liés à l'application des procédures ; c'est souvent par un manque d'information ou de ressources disponibles que ces situations se présentent et la réalité des usines de la plasturgie n'est pas très différente que celle de plusieurs autres secteurs d'activité. Les documents de référence sont très nombreux sur ce sujet et la mise en œuvre des solutions qui y sont proposées devrait donc relever du fabricant ou de l'entreprise qui utilise l'équipement.

Dans le cas des presses à injection de plastique, les prescriptions au sujet des moyens de réduction du risque et en particulier des protections qui devraient être utilisées sont relativement uniformes d'un document à l'autre. On s'entend généralement sur le fait que la protection de la zone du moule doit faire l'objet d'une attention particulière et que des protecteurs (fixes et mobiles) doivent être utilisés pour en empêcher l'accès. Ce même protecteur doit normalement lui-même être équipé de plusieurs dispositifs de verrouillage installés en redondance et une barre

d'arrêt mécanique doit également être fonctionnelle. L'absence de l'une ou l'autre de ces protections met en lumière un manque important de connaissances à ce sujet.

Si des protections étaient endommagées ou non fonctionnelles dans le cas de certains accidents, les causes fondamentales peuvent être attribuables à l'organisation du travail, ce qui encore une fois déborde du cadre de cette étude. Il se pourrait aussi que quelques-unes de ces situations soient le résultat d'une mauvaise compréhension de l'importance des vérifications périodiques des fonctions de sécurité due à une confiance exagérée en celles-ci.

Finalement, le non-respect des principes de sécurité de base pour la mise en œuvre de certaines de ces protections (ex. : protecteur fixe maintenu en place par un aimant, barrage immatériel ou tapis sensible facilement contournable, protecteur mobile sans dispositif de verrouillage) est également à l'origine de plusieurs accidents. Cette situation est elle aussi très fortement liée à un manque de connaissances de base des principes de sécurité par les différents intervenants de l'entreprise.

### **5.2.2.2 Contournement**

Autre conséquence d'un conflit apparent entre les besoins des travailleurs et les solutions mises en œuvre pour réduire le risque, le contournement des moyens de réduction du risque tels que les protecteurs et les dispositifs de protection sur les presses est souvent cité dans les rapports. Dans plusieurs cas, ces contournements sont rendus nécessaires par une inadéquation entre la tâche que doit réaliser un travailleur et la solution qui lui est imposée par le fabricant de l'équipement ou les responsables de l'usine.

Les solutions proposées dans la normalisation peuvent aussi être parfois incompatibles avec certaines tâches qui doivent être réalisées par les travailleurs. Tous les cas peuvent évidemment prêter à interprétation, mais lorsque par exemple, les travailleurs doivent grimper sur la machine pour accéder à la zone du moule par le dessus du protecteur pour effectuer un travail quelconque, ou qu'un tapis sensible est volontairement neutralisé, il est permis de croire que la protection qui lui est offerte limite le travailleur ou l'empêche de réaliser sa tâche de façon optimale.

### **5.2.2.3 Application du cadenassage**

De façon générale, l'analyse des accidents montre que le cadenassage de la machine ou des équipements périphériques n'était pas appliqué, ou pas de façon rigoureuse dans plusieurs entreprises. En conformité stricte avec l'article 185 du RSST [16], toutes les tâches de réparation, de maintenance et de déblocage devraient être réalisées lorsque l'équipement est cadenassé. Les cas recensés montrent que les tâches dont il est question ne portent cependant pas spécifiquement sur des problématiques liées à la réparation des équipements pendant lesquelles l'application des procédures de cadenassage est généralement plus répandue.

Des cas recensés de réglage et d'ajustement pour des besoins de production ne rendent donc pas l'application du cadenassage obligatoire, mais théoriquement, le déblocage (d'une carotte de plastique) et la maintenance de la machine (changement d'une tête du baril d'injection) auraient normalement dû être réalisés au moment où celle-ci est isolée de ses sources d'énergie.

### **5.2.3 Non-respect des procédures et des règles de l'art**

Si l'analyse des accidents réalisée dans cette étude montre que l'organisation du travail, dans son sens large (pas d'analyse du risque, peu ou pas de procédures, peu de ressources, etc.), peut souvent donner l'impression d'être déficiente, il est cependant important de mentionner que très peu de cas ont permis de remettre en cause les méthodes et les solutions techniques normalement préconisées par la normalisation ou les autres documents de référence identifiés.

Les causes fondamentales trouvent pratiquement toujours leur origine dans le non-respect des procédures et des méthodes de travail ou dans la mauvaise utilisation ou la mise en œuvre inadéquate d'un moyen technique éprouvé. Un des accidents les plus redoutés dans la zone du moule est celui où un travailleur y serait coincé mortellement. Malheureusement, cet événement s'est produit dans un cas, mais selon toute vraisemblance, la neutralisation des dispositifs de protection aurait été à l'origine de l'accident. Dans un autre cas, c'est un interrupteur usé qui visiblement serait à l'origine de l'accident, cependant le défaut de cet interrupteur n'aurait normalement pas dû causer à lui seul cet événement regrettable puisqu'au moins un autre interrupteur installé en redondance aurait alors dû prendre la relève pour éviter le redémarrage de la machine selon les prescriptions normatives connues. Du fait de la durée de leur exposition dans la zone du moule, les techniciens responsables des changements de moules sont les travailleurs qui semblent être le plus à risque, mais aucun accident relatif à un changement de moule n'a heureusement été répertorié. Il est néanmoins important de poursuivre la réflexion sur les raisons qui expliquent ces neutralisations de dispositifs ou de non-application des procédures de sécurité.

## **5.3 Analyse du risque et moyens de réduction du risque**

À la suite des visites effectuées en usine, une compilation des moyens de réduction du risque observés a été réalisée. Classés selon une hiérarchie établie dans la normalisation en sécurité des machines, ces moyens vont de la prévention intrinsèque (élimination du phénomène dangereux ou réduction importante du risque) (tableau 6) à la mise en place de mesures de type organisationnel (formation, avertissement, équipements de protection individuels) (tableau 8), en passant par les protections telles que les protecteurs et les dispositifs de protection (tableau 7).

En complément à cet exercice, une analyse visant à identifier les composantes du risque dans la zone du moule a été élaborée par les membres de l'équipe de recherche. Cette grille d'analyse, présentée à l'annexe C, énumère les principaux risques identifiés lors des visites et établit la correspondance avec les moyens de réduction du risque utilisés par les entreprises. Répertorier ces moyens de réduction du risque et les analyser ont permis de dresser un portrait synthèse des solutions mises en œuvre par les entreprises.



**Tableau 6 – Liste des moyens de réduction du risque observés et usines concernées : prévention intrinsèque et réduction du risque par conception.**

Moyens de réduction du risque observés	Visites
Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production	B, C, D, E, F1, F2
Action manuelle volontaire nécessaire pour mettre en mouvement tout ou partie du système	A, B, C, D, E, F1, F2
Système de ventilation « captation à la source »	C
Surfaces antidérapantes	A, B, C, D, E, F1, F2
Ajout de plateformes sur les plateaux fixes et mobiles, ainsi que d'échelles fixes pour y accéder	F1
Petite plateforme antidérapante fixée à la machine	A, B, C, E
Mouvement de fermeture du moule conditionnel à la position du robot	B, C
Mouvement du robot conditionnel au mouvement du plateau	B, C
Convoyeur à bande « sans rouleau »	A, B, C, D, E
Basse tension	A
Vitesse réduite de fermeture du protecteur motorisé	B, E, F1
Utilisation d'une passerelle	C, F1

**Tableau 7 – Liste des moyens de réduction du risque observés et usines concernées : protecteurs et dispositifs de protection.**

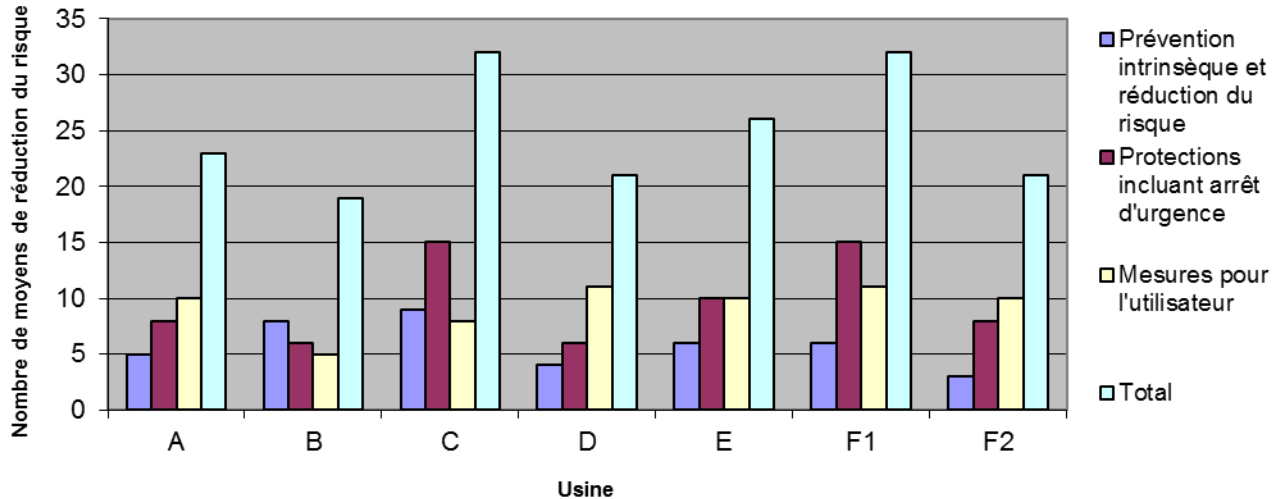
<b>Moyens de réduction du risque observés</b>	<b>Visites</b>
Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur	A, B, C, E, F1, F2
Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur	A, B, C, E, F1
Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée	C, D, F1, F2
Protecteur fixe de décharge côté opérateur	A, C, D, E, F1, F2
Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur	C, E, F1, F2
Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé	A, B, C, D, E
Système de blocage mécanique du plateau mobile	A, B, C, E, F1, F2
Garde-corps/rampe pour les escaliers et la passerelle	C, F1
Ajout de protecteurs d'angle rentrant	F1
Dispositif d'arrêt d'urgence du système « presse-équipements périphériques » en mode automatique	C
Dispositif d'arrêt d'urgence du convoyeur	A, F1
Protecteur fixe de décharge côté opérateur	A, C, D, E, F1, F2
Protecteur fixe de décharge côté opérateur pour la portion de la courroie située sous la zone du moule	A, D
Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur	C, E, F1, F2
Plancher sensible dans la zone du moule empêchant le mouvement de parties mobiles du système, y compris le protecteur de l'opérateur motorisé	C, F1
Dispositif de validation pour pendant de programmation de robot	B, C, D, E, F1, F2
Bordure sensible	B, C, E, F1

**Tableau 8 – Liste des moyens de réduction du risque observés et usines concernées : mesures de type organisationnel (formation, avertissement, EPI).**

Moyens de réduction du risque observés	Visites
Condamnation du panneau de commande (sauf l'AU)	F1, F2
Gants adaptés	A, C, D, E, F1
Lunettes de protection	A, C, D, E, F1, F2
Abaissement de la température du moule à 80°C avec une circulation d'eau avant d'intervenir	E
Visière	F1, F2
Formation à l'utilisation des appareils et accessoires de levage	A, C, D, E, F1, F2
Chaussures de sécurité	A, B, C, D, E, F1, F2
Vérification des accessoires de levage	A, B, C, D, E, F1, F2
Inspection et maintenance régulière des appareils de levage	A, C, D, E, F1, F2
Garder le sol propre (personne assignée pour le faire ou responsabilité de chacun)	C, D
Protecteur auditif	A, D
Organiser les objets lourds à proximité de la zone du moule (ex. : dans des chariots à tiroirs, sur une table rétractable installée sur le garde de la passerelle)	A, B, C, D, E, F1, F2
Utilisation d'un escabeau de hauteur suffisante et au nombre de marches suffisant pour éviter de sauter	A, B, D, E, F1, F2
Utilisation d'un escabeau ou marchepied adapté pour réduire les efforts d'accès	A, B, C, D, E, F1, F2

Toutes les usines visitées avaient recours à chacun des types de moyens de réduction du risque décrits plus haut. La figure 18 montre la répartition des moyens de réduction du risque repérés lors des visites en usines selon un regroupement par type (il s'agit des moyens de réduction du risque qui ont été intégrés à la grille d'analyse de l'annexe C et résumés dans le tableau 6, le tableau 7 et le tableau 8). Cette représentation graphique montre une distribution variée des solutions mises en place par les usines<sup>4</sup> pour chaque système visité. Dans la majorité des cas, les mesures de prévention intrinsèque et de réduction du risque sont parmi les moins fréquentes. Cette répartition pourrait s'expliquer du fait des situations de travail différentes d'une usine à l'autre et d'une machine à l'autre. Par exemple, la barre de retenue mécanique n'était pas utilisée pour l'un des systèmes où le protecteur du côté de l'opérateur était ouvert en permanence pour permettre au robot de prendre les pièces dans la zone du moule.

<sup>4</sup> L'arrêt d'urgence est normalement considéré comme un moyen complémentaire, mais a été inclus ici dans la liste des protections.



**Figure 18 – Répartition des moyens de réduction du risque pour les systèmes visités dans les usines.**

Des quarante-trois moyens de réduction du risque identifiés et inscrits dans la grille d'analyse, seulement cinq sont utilisés dans toutes les usines :

- action manuelle volontaire pour permettre la remise en marche de tout ou d'une partie du système ;
- surfaces antidérapantes ;
- chaussures de sécurité ;
- vérification des accessoires de levage ;
- organisation des objets lourds à proximité de la zone du moule.

La répartition des moyens de réduction du risque est intéressante et montre que les usines utilisent ce qui leur semble être les moyens les plus adaptés à la réalité de leurs installations lorsque, par exemple, un robot ou des convoyeurs sont utilisés conjointement avec la presse. Les différents équipements périphériques utilisés dans le procédé rendent parfois l'adaptation nécessaire. Par exemple, dans un cas mentionné plus tôt, la barre mécanique de blocage censée empêcher la fermeture du moule si le protecteur du côté de l'opérateur est ouvert a dû être désactivée du fait que le robot devait passer par l'ouverture de ce protecteur dont la fonction de verrouillage avait alors été neutralisée. De plus, des fonctions de sécurité additionnelles doivent parfois être incorporées dans le circuit de commande de la presse (enceinte de robot, arrêt d'urgence sur convoyeur, etc.).

D'autre part, pour la majorité des usines visitées, l'identification des risques réalisée par l'équipe de recherche montre que toutes les situations dangereuses identifiées sont couvertes par au moins un moyen de réduction du risque.

## 5.4 Bonnes pratiques et lacunes observées en usine

Les visites en usine ont permis d'observer les pratiques utilisées par les travailleurs dans leur environnement usuel. Comme chacune des observations portait notamment sur une tâche

spécifique qui consistait à changer le moule, les différences et les points communs ont ainsi pu être identifiés.

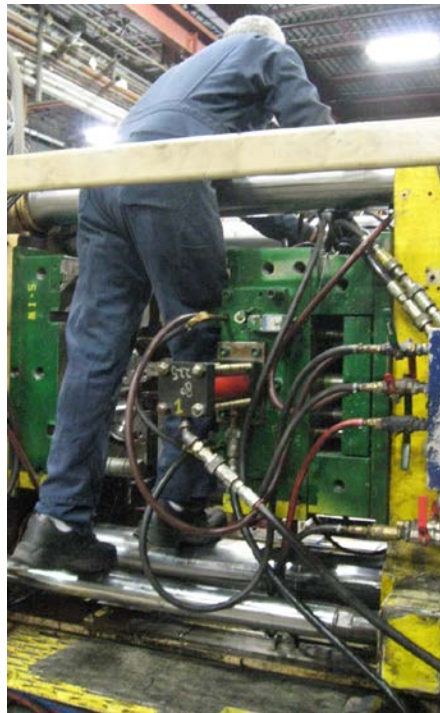
De façon générale, les travailleurs appelés à réaliser cette tâche procédaient de façon à garantir leur propre sécurité en utilisant les moyens dont ils disposaient. Mis à part quelques exceptions, les lacunes principales identifiées provenaient majoritairement de la non-conformité des équipements avec les recommandations normatives. Il est important de comprendre que si les travailleurs se placent parfois eux-mêmes en situation dangereuse, c'est notamment parce que les moyens de réduction du risque ne sont pas disponibles.

Bonnes pratiques observées :

- Conception du moule corrigée de façon à réduire au minimum le blocage des pièces produites puisque ces blocages nécessitent des interventions dans la zone du moule. On réduit ainsi la fréquence d'exposition des travailleurs aux phénomènes dangereux qui se retrouvent dans cette zone.
- Actionnement de l'arrêt d'urgence avant d'intervenir dans la zone dangereuse du moule. Cette pratique constitue une barrière de plus et aide à réduire la probabilité qu'un défaut ou qu'une manœuvre intempestive puisse être à l'origine d'un démarrage de la machine.
- Indication de la présence des travailleurs dans la zone de fermeture du moule en apposant une affiche bien en vue des autres travailleurs (figure 11, p. 30).
- Manutention du moule avec les ponts roulants en procédant de manière sécuritaire (la charge aussi basse que possible en tout temps, aucune personne sous la charge, vérification des élingues, etc.) (figure 12, p. 31).
- Ajout de détecteur de proximité pour améliorer la surveillance du bon fonctionnement d'une valve hydraulique utilisée comme dispositif de verrouillage.

Lacunes ou difficultés observées :

- Nécessité pour les travailleurs de grimper sur des barres de guidage glissantes pour atteindre certaines parties du moule (figure 19).
- Non-conformité des protecteurs fixes qui ne couvrent pas complètement la zone dangereuse et laissant donc des accès résiduels aux phénomènes dangereux.
- Non-respect de certaines procédures. Dans un cas notamment, la procédure exigeait que toutes les portes munies de dispositifs de verrouillage de l'enceinte de protection du robot soient ouvertes avant d'intervenir, pour réduire le risque d'un démarrage intempestif. Cette condition n'était pas respectée pendant les observations.
- Surfaces encombrées (figure 20) ou glissantes.
- Escabeaux et autres équipements inadéquats pour le travail contribuant ainsi à augmenter les risques de chute (ex. : escabeaux branlants, marches étroites) (figure 21).
- Non-conformité de certains dispositifs de verrouillage installés en mode d'actionnement négatif, ce qui est contraire aux prescriptions normatives.
- Certaines enceintes équipées de portes d'accès n'étaient pas munies de dispositifs de verrouillage.



**Figure 19 – Monteur-ajusteur de moule sur les barres de guidage.**



**Figure 20 – Travailleur sur le marchepied encombré par des brides de serrage.**



Figure 21 – Travailleur sur un escabeau aux marches étroites.

#### 5.4.1 Différences entre les usines

Si les usines identifient ce qui leur semble être les meilleures solutions aux situations qu'elles rencontrent, les différences remarquées dans les visites montrent cependant que parfois, face à des situations dangereuses sensiblement identiques, les usines n'adoptent pas toutes les mêmes solutions. À titre d'exemple, plusieurs des presses observées étaient suffisamment grandes pour permettre à un travailleur de se tenir dans la zone du moule, l'exposant à une des situations les plus dangereuses répertoriées pouvant mener à son décès. Pourtant, seulement deux presses comportaient un plancher sensible capable d'en détecter la présence malgré le fait que les documents normatifs proposent cette solution [14, 21, 23]. Cet état de fait est-il dû à un niveau de connaissance différent des responsables ? Si le choix de cette mesure repose uniquement sur une évaluation du risque, il est relativement aisé de présumer que de façon générale, les utilisateurs peinent à imaginer comment une personne peut se trouver à l'intérieur de la machine sans être vue par celle qui démarrera la machine depuis la console. Une fois à l'intérieur de la zone du moule, la sécurité du travailleur repose alors complètement sur le bon fonctionnement du système de commande de la machine. Des solutions existent (détecteur surfacique, barrage immatériel observé sur une presse, systèmes de transfert de clé), mais tant que les fabricants ne seront pas tenus d'installer de facto ces solutions, les utilisateurs feront des choix basés en grande partie sur leur propre perception des risques, mais également sur les avantages et inconvénients que ces solutions apportent.

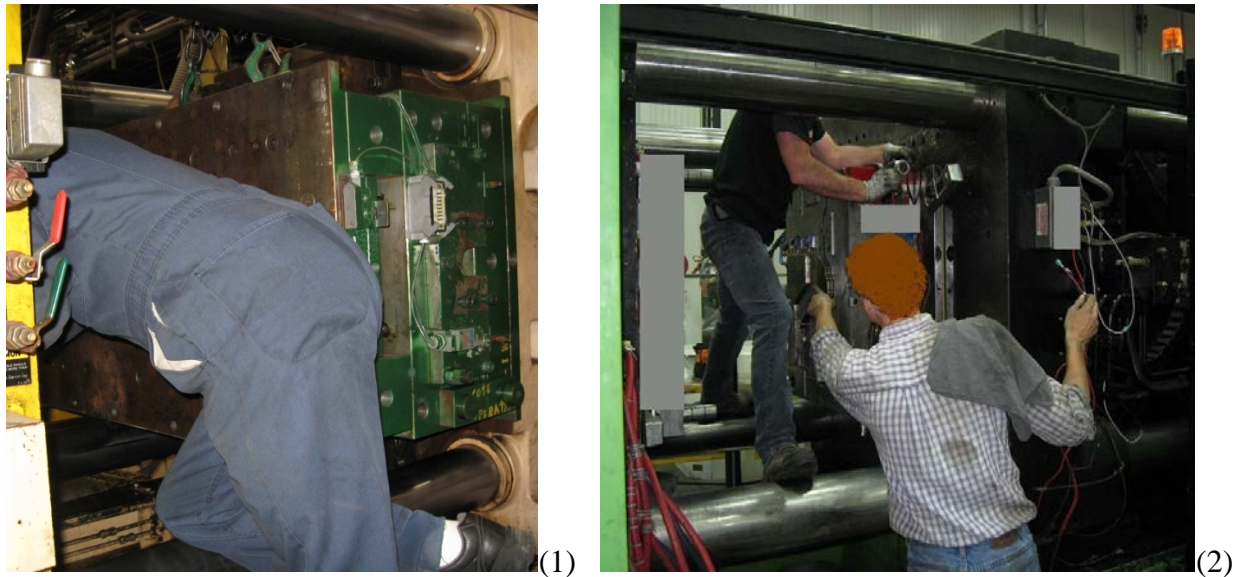
### 5.5 Tâches de changement du moule et d'opération de la presse

Les tâches de production qui ont été observées sont notamment : le changement de moule et l'opération de la presse. Un des phénomènes dangereux les plus importants sur les presses à injection est le mécanisme de fermeture du moule. Lorsqu'il est en mouvement, le plateau sur



lequel se déplacent les parties du moule crée une zone d'écrasement très grande dans laquelle les forces en jeu sont extrêmement importantes (pouvant être de l'ordre du méga Newton). Les conséquences d'un écrasement dans cette zone sont très graves et peuvent mener à la mort des victimes.

Dans le cas des grandes presses sur lesquelles les observations ont été menées, l'espace entre les parties du moule est suffisamment grand pour qu'un travailleur puisse s'y trouver, en partie ou même complètement (figure 22). Dans l'éventualité où le plateau se refermerait au moment où un travailleur se trouve dans la zone de coincement, il pourrait donc se faire écraser mortellement. Les travailleurs qui ont la responsabilité de changer les moules sont exposés de façon directe à ce phénomène dangereux important. Ils doivent entrer à l'intérieur de la presse et procéder premièrement au retrait du moule à remplacer pour ensuite installer le nouveau. Une bonne partie de ce travail est effectuée alors que les travailleurs sont partiellement ou complètement exposés à la zone de coincement. Le plateau mobile de la presse ne doit donc absolument pas démarrer à ce moment.



**Figure 22 – Tronc d'un travailleur dans la zone du moule (1) et corps entier d'un travailleur dans cette zone (2).**

Les opérateurs de presse sont eux aussi exposés à ce risque important et ce, de manière encore plus fréquente. Sur des presses fonctionnant en mode semi-automatique, leur tâche consiste à retirer fréquemment du moule les pièces produites. À chaque cycle de production, ils doivent alors ouvrir le protecteur du côté de l'opérateur et introduire leurs mains ou leur corps entier dans la zone de fermeture du moule pour y retirer les pièces. À l'instar des presses mécaniques et hydrauliques sur lesquelles les risques sont semblables, c'est principalement pour cette raison que les recommandations normatives pour la protection de la zone de fermeture du moule sont extrêmement rigoureuses. Sans décrire complètement les exigences, mentionnons que le protecteur mobile du côté de l'opérateur doit être muni de dispositifs de verrouillage redondants (électriques, hydraulique). De plus, une barre mécanique de blocage doit empêcher le mouvement de fermeture du plateau si le protecteur du côté de l'opérateur n'est pas fermé. Cette protection est jugée suffisante pour réduire le risque encouru par les opérateurs à un niveau tolérable.



Est-ce que ces moyens de réduction du risque sont adaptés et suffisants pour assurer la protection des changeurs de moules ? Est-ce que le recours aux moyens de réduction du risque mis en place pour la protection des opérateurs offre un niveau de sécurité tolérable pour les changeurs de moules ? Il s'agit de deux tâches distinctes réalisées dans la même zone dangereuse : d'une part, les opérateurs doivent étendre le bras dans la zone de fermeture du moule pour aller chercher les pièces et cela plusieurs dizaines, voire centaines de fois par jour, d'autre part, les changeurs de moule doivent entrer complètement dans la zone du moule, mais quelques fois par jour (sur plusieurs presses).

Une estimation du risque typique montrerait sans doute que la gravité de la blessure potentielle de ces deux situations de travail serait jugée « importante » ou « grave » et que la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (ex. : fermeture intempestive du moule) serait jugée « faible », du fait des moyens de réduction mis en place. En se référant aux valeurs prescrites par plusieurs méthodes d'estimation du risque [37], la fréquence d'exposition à une situation dangereuse d'au moins une fois par quart de travail serait considérée « élevée » dans les deux cas. Les trois facteurs d'estimation du risque, gravité, fréquence ou durée d'exposition et probabilité d'occurrence de l'événement dangereux sont donc semblables pour les deux tâches.

C'est possiblement le dernier facteur d'estimation décrivant la possibilité d'évitement, qui pourrait établir une différence. Selon toute vraisemblance, si un opérateur a la main ou le bras dans la zone de fermeture du moule, il est possible d'imaginer qu'au moment du démarrage des mouvements du plateau, il aurait possiblement le temps de se retirer de la zone dangereuse pour éviter l'accident. Il est cependant plus difficile de considérer qu'un changeur de moule installé à l'intérieur de la presse pour effectuer son travail aura la même facilité à se dégager à temps. On dirait alors que la possibilité d'évitement est « très faible » ou « pratiquement impossible ». L'influence de ce facteur sur les résultats d'estimation du risque est généralement la plus basse. À titre d'exemple, le graphe de risque illustré à la figure 23 abaisse d'un niveau l'indice de risque relatif aux situations pour lesquelles la possibilité d'évitement est jugée possible.

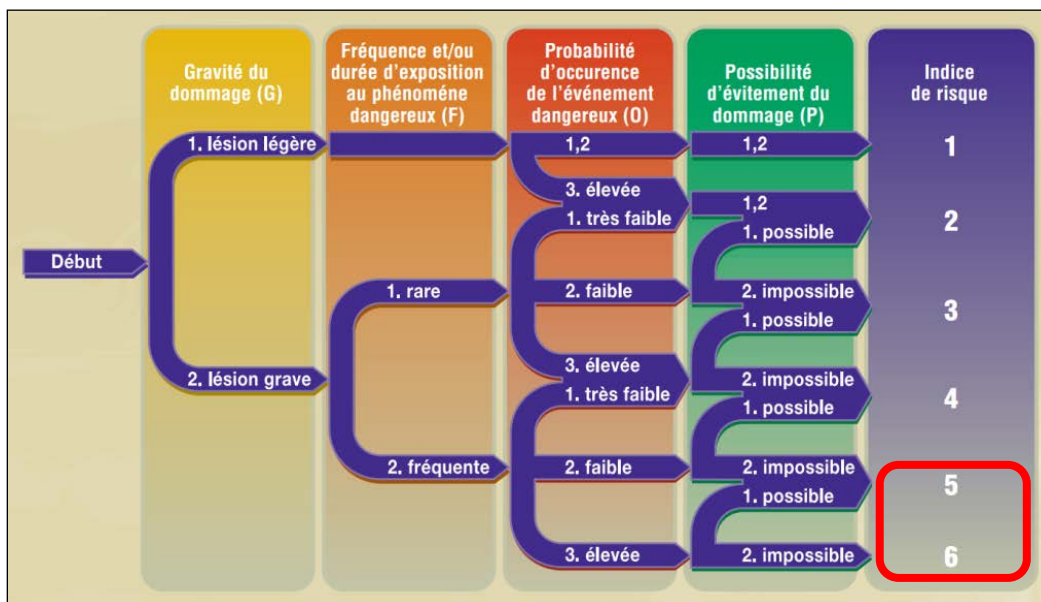


Figure 23 – Graphe de risque [38].

Il est notoire de dire qu'on ne devrait pas miser sur la possibilité d'évitement pour réduire le risque d'une situation donnée, mais ce facteur sera utilisé pour l'estimation afin de comparer les niveaux de risque. Est-ce que cette différence est suffisante pour justifier des moyens de réduction du risque différents ? Est-ce que les solutions pour la protection des opérateurs sont valables pour la protection des changeurs de moules ?

Les observations en usine ont permis de constater que plusieurs moyens de réduction du risque utilisés par les opérateurs sont aussi utilisés pour assurer la protection des changeurs de moules (ex. : utilisation des protecteurs mobiles verrouillés seuls ou en combinaison avec la condamnation du protecteur avec un cadenas, la condamnation du panneau de commande et l'actionnement du bouton d'arrêt d'urgence). Par ailleurs, le HSE [23] précise que les protecteurs peuvent être privilégiés mais qu'à cause des contournements et des systèmes de commande ne respectant pas les règles de l'art, le cadenassage peut être utilisé. Le HSE [23] préconise l'utilisation de l'arrêt d'urgence dans les deux cas comme moyen complémentaire.

### **5.5.1 Le cadenassage**

La méthode de réduction du risque qui *a priori* semble être la plus sécuritaire pour la réalisation de la tâche de changement de moule est le cadenassage. Appliquée correctement, cette procédure assurerait l'une des meilleures protections aux travailleurs. En isolant la machine de ses sources d'énergie et en condamnant les dispositifs d'isolement à l'aide d'un cadenas personnel, les travailleurs seraient assurés d'un niveau de protection très élevé contre l'éventualité d'un démarrage intempestif des mouvements du plateau, qu'ils soient provoqués par une défaillance technique ou à la suite d'un ordre de mise en marche accidentel (par un tiers ou l'opérateur) ou volontaire par un tiers.

### **5.5.2 Difficultés d'application du cadenassage**

Comme l'ont montré l'analyse des accidents réalisée et les observations faites lors des visites, le cadenassage ne figure pas dans le coffre à outils de la majorité des usines étudiées. L'application d'une procédure de cadenassage selon les règles de l'art pendant le changement d'un moule n'a été observée dans aucune des usines visitées. Il semble que certaines conditions rendent l'application du cadenassage difficile, mais pour quelles raisons ? Quels sont les incitatifs à mettre en œuvre d'autres mesures ?

Les presses à injection sont alimentées en énergie électrique. Cette énergie sert notamment à alimenter les moteurs des pompes hydrauliques qui alimentent à leur tour les vérins hydrauliques responsables des mouvements du plateau mobile. L'électricité sert aussi à alimenter les éléments chauffants entourant la vis dans laquelle le plastique est fondu avant d'être injecté dans le moule.

Or, certaines tâches d'entretien et de réparation telles que le démontage de la pièce de l'unité d'injection, identifiées lors de l'analyse des accidents, doivent absolument être réalisées alors que le plastique est fondu dans la vis. Le temps requis pour élever la température de cette portion de la machine peut être relativement long et la solidification du plastique advenant une coupure en électricité peut engendrer un retard de plusieurs heures de la production. Aussi, les ordinateurs et les contrôleurs utilisés pour commander les presses peuvent nécessiter un long processus de redémarrage s'ils sont arrêtés.

Si ces préoccupations sont justifiées, il est cependant fréquent que les éléments chauffants, les ordinateurs et les contrôleurs du circuit de commande soient alimentés en électricité à partir de la même source que les moteurs électriques des pompes hydrauliques ; couper l'alimentation électrique des moteurs entraîne alors un arrêt des éléments chauffants et des ordinateurs, avec les conséquences que l'on connaît. À ce sujet, la norme *CSA Z460-05* [39] recommande d'ailleurs de faire en sorte que les éléments chauffants, les ordinateurs et les contrôleurs soient alimentés par une autre source cadenassable ou recommande d'installer un sectionneur directement sur le moteur de la pompe hydraulique.

Extraits de la norme *CSA Z460-05*, annexe K (informative)

*K.1 Réglage (aucun mouvement)*

*Sur les machines à mouler les matières plastiques pour lesquelles on doit maintenir l'apport en chaleur d'une unité d'injection ou l'alimentation en énergie d'un automate programmable ou d'un microprocesseur durant les activités de réglage, on devrait utiliser un dispositif d'isolement des sources d'énergie verrouillable<sup>5</sup> distinct pour tout moteur, toute pompe ou tout autre équipement qui pourrait faire en sorte qu'un employé soit exposé à un phénomène dangereux.*

*[...]*

D'autre part, de façon très concrète et telle qu'observée pendant les visites, l'installation des différentes portions du moule pendant son changement requiert le déplacement du plateau mobile à plusieurs occasions. Si le cadenassage de la presse n'est pas à proprement parlé impossible dans ce cas, son application serait tout de même laborieuse.

Finalement, dans l'esprit de l'article 185 du RSST [16] qui stipule que le cadenassage est obligatoire pour les tâches de maintenance, de réparation et de déblocage, certaines tâches, telle que le changement d'un outil, peuvent être réalisées lorsque la machine est cadenassée. Or, le changement d'un moule s'apparente à un changement d'outil, mais peut assez facilement être interprété comme n'étant pas une tâche de maintenance ou de réparation et certainement pas de déblocage. Suivant cette interprétation, le cadenassage ne serait donc pas ressenti comme une obligation par plusieurs entreprises.

### **5.5.3 Alternatives au cadenassage**

Pour toutes ces raisons, il semble que les entreprises aient développé et utilisent des méthodes et des mesures alternatives au cadenassage. Si le cadenassage n'est pas appliqué, les travailleurs ne s'exposent cependant pas aveuglément aux risques auxquels ils sont exposés. De l'arrêt du moteur par la commande de la console en passant par l'apposition d'étiquette d'avertissement, plusieurs méthodes sont utilisées.

#### **5.5.3.1 Utilisation des moyens de protection**

Lorsqu'elles sont conçues suivant les prescriptions normatives, les presses à injection de plastique possèdent plusieurs moyens de réduction du risque pour la protection de la zone du moule. Tel que mentionné plus haut, le protecteur du côté de l'opérateur doit être verrouillé de manière redondante (hydraulique et électrique), le protecteur à l'arrière de la machine doit être

---

<sup>5</sup> Version anglaise de la norme : “[...] a separate lockable energy-isolating device for a motor [...]”.

verrouillé (usuellement de manière électrique seulement) et une barre d'arrêt mécanique (ou autre système de blocage) doit empêcher mécaniquement la fermeture du moule si le protecteur du côté de l'opérateur n'est pas fermé. Ces moyens, conçus pour et utilisés par les opérateurs, sont pratiquement toujours utilisés comme alternative au cadenassage par les changeurs de moules observés pendant les visites. Plutôt que de cadenasser les énergies de la presse à la source, ces travailleurs, ou leurs responsables jugent que la protection qui est offerte aux opérateurs de presse est suffisante pour la réalisation de leurs tâches. De façon concrète, dès que le protecteur du côté de l'opérateur est ouvert, tous les mouvements dangereux sont stoppés. Pourquoi alors se préoccuper d'un redémarrage ?

Selon les informations obtenues lors des visites, cette confiance au système de commande de la machine n'est peut-être pas toujours appuyée sur une connaissance approfondie des exigences relatives à la conception des circuits de commande relatifs à la sécurité telles que décrites dans le chapitre 6 de ce rapport. Les résultats du questionnaire utilisé pendant les visites en usine portant sur les connaissances dans ce domaine, notamment sur les normes *ISO 13849-1:2008* [31] ou *CEI 62061:2005* [40] montrent que ces prescriptions sont pratiquement inconnues ou sinon très mal comprises des intervenants du milieu. Cette difficulté est commune à un très grand nombre d'utilisateurs et ce, partout dans le monde. L'application rigoureuse de ces normes pose un défi important à la fois d'interprétation et de réalisation. Les représentants des comités de normalisation portant sur ces documents sont conscients de ces difficultés et des travaux sont en cours afin d'en simplifier la compréhension pour les utilisateurs. Un groupe de travail ISO-CEI relatif à la fusion des deux normes susmentionnées a justement distribué récemment un questionnaire dont l'un des buts est de mieux saisir ces difficultés et le contexte d'application de ces normes par leurs utilisateurs.

Pour le moment, c'est pourtant sur cette fiabilité des circuits de commande que repose la sécurité des travailleurs appelés à intervenir sur ces machines. Les visites ont d'ailleurs mis en évidence plusieurs lacunes relatives à la conception selon les règles de l'art des protecteurs et autres moyens de protection. Des principes de base de sécurité n'étaient pas appliqués (interrupteur de verrouillage pas installé selon le mode d'actionnement positif, réfection partielle des parties du circuit de commande relatives à la sécurité sans contacteurs de redondance, etc.). De plus, la plupart des presses décrites dans les visites sont pourvus d'API standard auxquels sont reliés plusieurs des fonctions de sécurité. Pourtant, ces API ne doivent normalement pas être utilisés seuls pour remplir les fonctions de sécurité, ce qui a comme effet d'augmenter le risque d'accidents causés par des défaillances autant pour les opérateurs que pour les changeurs de moules.

Le remplacement du cadenassage par des systèmes relatifs à la sécurité utilisant des circuits de commande conçus selon les règles strictes imposées par les normes de conception n'est pas un sujet qui concerne seulement les utilisateurs de presses à injection de plastique. Un grand nombre d'utilisateurs de machine très diverses sont confrontés tous les jours à des situations où le cadenassage, bien qu'il devrait être appliqué en conformité avec la réglementation actuelle au Québec, pose des difficultés et semble être un frein important à la production. La norme *CSA Z460-05* [39] est un des premiers documents au Canada ouvrant la voie à l'utilisation de mesures alternatives au cadenassage, notamment par l'utilisation de moyens de protection. Ses prescriptions sont évidemment prudentes et recommandent qu'une analyse du risque basée sur la tâche soit réalisée au préalable.

Bien que cette idée soit attrayante, elle met en évidence des questions très pertinentes sur la comparaison de la sécurité que peuvent offrir, d'une part, une procédure de cadenassage et d'autre part, un système de protection faisant appel à un circuit de commande relatif à la sécurité. Si les changeurs de moule semblent confiants à l'idée d'entrer dans la zone de fermeture du moule pour y réaliser leur tâche en remettant leur sécurité aux mains d'un circuit de commande parfois même peu fiable, ils sont pour la plupart réticents à l'idée de procéder, par exemple, au remplacement d'un accouplement mécanique de la pompe hydraulique de la même presse sans avoir au préalable isolé et cadenassé la source d'énergie du moteur électrique.

Il serait donc sage de s'assurer que les principes de base et les prescriptions normatives correspondantes sont appliquées sur chacun des moyens de réduction du risque en utilisation présentement, avant de permettre leur utilisation en remplacement d'une procédure de cadenassage ; le niveau de fiabilité d'un protecteur mobile du côté opérateur importe peu si l'accès à la zone dangereuse est possible en ouvrant simplement la porte d'une enceinte de robot qui n'est pas verrouillée comme cela s'est présenté dans au moins une des usines visitées.

### 5.5.3.2 Condamnation du protecteur verrouillé

Une variante de l'utilisation des moyens de protection usuels décrite dans le chapitre précédent consiste à condamner, à l'aide d'un cadenas, le protecteur du côté de l'opérateur en position ouverte. Une des usines visitées utilisait cette méthode de condamnation conformément à la recommandation présentée à l'annexe K de la norme *CSA Z460-05* [39] portant sur le cadenassage :

#### *K.1 Réglage (aucun mouvement)*

[...]

*Dans le cas d'une machine à mouler les matières plastiques qui est conforme aux normes de sécurité pertinentes, la barrière de protection mobile devrait être verrouillée<sup>6</sup> en position ouverte, la ou les sources d'énergie qui servent à maîtriser le mouvement dans l'aire de la matrice étant coupées.*

[...]

Selon cette approche, lorsqu'aucun mouvement du plateau n'est nécessaire pendant la phase de réglage, il est approprié de condamner à l'aide d'un cadenas le protecteur en position ouverte. La protection offerte aux travailleurs repose, ici aussi, entièrement sur le bon fonctionnement des circuits relatifs à la sécurité en utilisation sur la presse. Les auteurs de la norme ont d'ailleurs pris soin de mentionner que la machine doit, dans ces cas, être « conforme aux normes de sécurité pertinentes ».

La technique observée en usine présentait cependant quelques lacunes. Le cadenas qui devait bloquer le protecteur a été installé au moins une fois dans un trou localisé au mauvais endroit sur le rail de guide du protecteur, ce qui avait comme effet de ne pas empêcher la fermeture du protecteur. Aussi, considérant le nombre élevé de mouvements nécessaires pour la réalisation de la tâche, le cadenas qui devait être retiré à chaque demande de mouvement du plateau n'était pas toujours remis en place.

---

<sup>6</sup> Version anglaise de la norme : “[...] *the controlling safety gate should be locked in the open position [...]”.*

L'ouverture du protecteur du côté de l'opérateur prévient un démarrage des mouvements à l'intérieur de la zone du moule, mais rien n'empêche une personne de refermer ce même protecteur de l'extérieur pour ensuite redémarrer la presse même si un travailleur se trouve à l'intérieur de la zone du moule. Comment s'assurer que personne ne se trouve à l'intérieur de la zone du moule parfois très grande ? Cette question réfère directement à la recommandation des normes portant sur la sécurité des presses à injection lorsqu'elles proposent l'installation de système de détection de présence directement dans la zone du moule lorsque les machines sont de grandes dimensions. Tel que mentionné plus haut, seulement deux des presses des usines visitées étaient équipées d'un plancher sensible remplissant cette fonction.

À la lecture des normes pertinentes, des alternatives à cette recommandation sont évidemment possibles, tel que recommandé à l'article 5.2.3 de la norme *ISO 14120:2002* [41] :

*Dans toute la mesure du possible, les protecteurs mobiles doivent être conçus et disposés de telle sorte qu'en fonctionnement normal, ils ne puissent pas se refermer tant que des personnes se trouvent dans la zone dangereuse. Si ceci n'est pas possible, d'autres moyens doivent être mis en œuvre pour empêcher que des personnes puissent rester à l'intérieur de la zone dangereuse sans être détectées*

Si la condamnation du protecteur à l'aide d'un cadenas tel que pratiqué dans cette usine ne protège pas les travailleurs contre l'éventualité de défaillances du circuit de commande, elle pourrait au moins être considérée comme une méthode valable pour contrer les situations où un travailleur se trouve à l'intérieur de la zone du moule sans être vu. Le travailleur qui appose préalablement son cadenas personnel de façon à bloquer le protecteur en position ouverte s'assure qu'aucune autre personne ne pourra redémarrer la machine au moment où il se trouve dans la zone du moule.

### **5.5.3.3 Autres considérations**

La norme *CSA Z460-05* [39] propose, dans son annexe K.3, une alternative au cadenassage lorsque le déplacement du plateau est nécessaire alors que le protecteur du côté de l'opérateur est ouvert :

*K.3 Machines de moulage par extrusion-soufflage et par injection-soufflage (réglage des machines en mouvement)*

*Au cours des activités de réglage, lorsqu'il est nécessaire de permettre le mouvement de la machine tandis que la barrière de protection de l'opérateur est ouverte, on devrait respecter l'article 6.5 de la ANSI/SPI B151.15 et l'article 6.5 de la ANSI/SPI B151.21.*

Aucune situation n'a été observée pendant laquelle les mouvements du plateau ou du moule étaient nécessaires alors que les protecteurs n'étaient pas fermés. Cette recommandation de la norme ne s'applique donc dans aucun des cas observés.

### **5.5.3.4 Utilisation de l'arrêt d'urgence**

Le dispositif d'arrêt d'urgence est usuellement considéré dans la normalisation comme une mesure de protection complémentaire, en ce sens qu'il permettra une réduction du risque dans certaines conditions seulement et sera utilisé conjointement avec les moyens de protection (protecteurs et dispositifs de protection). Ce dispositif est souvent installé à plusieurs endroits



autour des presses. Si des équipements périphériques tels que des convoyeurs ou des robots sont ajoutés, il est de mise d'installer des dispositifs d'arrêt d'urgence additionnels sur ces équipements ou à proximité de ceux-ci. Selon la norme *ISO 13850* [42], les dispositifs d'arrêt d'urgence « doivent être disposés de manière à être facilement atteints et actionnés sans danger ». Dans la zone du moule où les dispositifs d'arrêt d'urgence sont généralement absents ou inaccessibles, l'utilisation d'un bouton d'arrêt d'urgence « portatif » est une alternative qui a été observée dans une des usines visitées. Les travailleurs intervenant à cet endroit avaient accès à ces boutons d'arrêt d'urgence reliés par câbles au circuit relatif à la sécurité du système « presse-équipements périphériques ». Ces travailleurs profitaient donc d'une fonction de sécurité complémentaire qui autrement serait absente.

La fonction d'arrêt d'urgence est normalement destinée à « parer à des phénomènes dangereux en train d'apparaître ou atténuer des phénomènes dangereux existants pouvant porter atteinte à des personnes, à la machine, ou au travail en cours » [42]. En se référant à cette définition, on comprend que les dispositifs d'arrêt d'urgence devraient être utilisés par les travailleurs au moment où apparaissent les situations dangereuses ou dans certains cas, juste avant. Le recours à l'arrêt d'urgence pour empêcher le démarrage d'une machine est pourtant une méthode très répandue dans les usines. Dans quelques cas, il s'agit en fait de la seule mesure de réduction du risque disponible, notamment à proximité de certains convoyeurs où les angles rentrants sont accessibles.

À l'instar des protections, telles que les protecteurs mobiles, qui sont utilisées pour empêcher le redémarrage de la presse, le recours aux dispositifs d'arrêt d'urgence repose sur la fiabilité du circuit de commande auquel ils sont rattachés. Les questions de fiabilité abordées plus haut s'appliquent ici aussi de façon directe et tout aussi importante. La différence importante dans ce cas provient du fait que, contrairement au protecteur mobile qui doit être ouvert pour donner accès à la zone dangereuse, stoppant ainsi la machine automatiquement, l'utilisation d'un arrêt d'urgence n'est basée que sur une action volontaire des travailleurs. Si le travailleur juge qu'il n'a pas besoin d'actionner l'arrêt d'urgence pour se protéger, il sera exposé notamment au redémarrage de la machine.

Cette pratique très répandue et utilisée de façon quasi automatique par des intervenants observés pendant les visites est souvent utilisée en complément de l'ouverture d'un ou des protecteurs. Si cette façon de faire apporte une sécurité additionnelle, elle ne devrait jamais être la seule disponible aux travailleurs.

## 5.6 Les tâches de polissage et de nettoyage du moule

Comme mentionné plus tôt, des tâches de maintenance ont été observées aux usines C et F : le nettoyage du moule et le polissage de ses empreintes. À l'usine C aucun cadenassage n'était appliqué pour le polissage et le nettoyage du moule ; les travailleurs se fiaient au bon fonctionnement des moyens de protections mis en place. Cependant, lors de la visite F1, la condamnation du panneau de commande (bouton d'arrêt d'urgence exclu) était appliquée sous la forme d'un cadenassage de groupe. Toutefois, il ne s'agissait pas d'un cadenassage au sens de l'article 185 du RSST [16] puisque les énergies sources de danger n'étaient pas condamnées. Tout comme la condamnation du protecteur de l'opérateur mentionné plus tôt, celle du panneau

de commande consiste à éviter le démarrage accidentel par un tiers des éléments mobiles des équipements, mais pas un démarrage intempestif dû à une défaillance du système de commande.

Rappelons que les échanges avec les participants rencontrés nous ont appris que le cadenassage au sens du RSST était appliqué dans leur usine, seulement pour de la maintenance importante ou des réparations et non pour de la maintenance préventive (nettoyage, polissage). Cela s'expliquerait par le fait que lors du polissage et du nettoyage du moule, des essais de production sont requis de temps en temps, afin d'évaluer le fini de la pièce produite, pour ajuster au fur et à mesure le polissage et finalement pour valider l'empreinte du moule. Il est donc évident que la sollicitation d'énergie de manière récurrente est nécessaire durant ces tâches de maintenance que nous avons observées. Étant donné que pour réaliser le polissage et le nettoyage, les travailleurs doivent accéder à la zone du moule en déplaçant un protecteur qui rend inopérants les éléments mobiles de cette zone dangereuse, nous pouvons dire que cette procédure respecte l'esprit de l'article 186. Par ailleurs, remarquons que le bouton d'arrêt d'urgence de la console consignée est hors du couvercle qui le condamne. C'est une manière intelligente de permettre d'éviter ou de limiter le dommage si jamais un démarrage dû à une défaillance du système de commande survient : il suffira d'actionner le bouton d'arrêt d'urgence, mais encore faut-il que ce bouton soit facilement accessible et que la fonction de sécurité qui lui est rattachée soit fiable.

Finalement, en nous basant sur la grille d'analyse de l'annexe C et sur la durée des tâches de maintenance et de production observées (annexe B), réalisées principalement dans la zone du moule, les risques inhérents à ces deux types d'interventions sont essentiellement similaires pour une même usine, puisque la problématique concerne la même situation : le travailleur accède à la zone du moule et la durée ou la fréquence d'exposition aux phénomènes dangereux de cette zone reste élevée. Les seules différences résident dans : les risques de chute de la charge portée par un robot (production), les projections de copeaux métalliques (maintenance) et le contact avec des liquides nettoyants (maintenance).

## 5.7 Protection des équipements périphériques

Tel que défini dans la portée de l'étude présentée dans les objectifs de recherche, les équipements périphériques considérés lors des visites devaient être installés ou avoir un impact sur la sécurité des travailleurs à l'intérieur d'une zone d'environ un mètre de la zone du moule du côté de l'opérateur et du côté opposé à l'opérateur.

Les robots, les convoyeurs et les ponts roulants sont les équipements périphériques ayant été identifiés le plus fréquemment pendant les visites en usine. Les moyens de réduction du risque de ces équipements périphériques sont très variables et parfois indépendants du fonctionnement de la presse (d'après les essais de fonctionnement effectués lors des visites). Typiquement, les phénomènes dangereux générés par les robots évoluant au-dessus de la zone du moule ou à l'arrière de la presse (dans un cas) et ceux des convoyeurs installés sous la zone du moule ou à l'arrière de la presse sont rendus inaccessibles par l'ajout d'une enceinte (figure 24). En revanche, il nous est arrivé d'observer, à la visite F2 par exemple, que l'ouverture créée dans l'enceinte de protection pour qu'un convoyeur la traverse est suffisamment grande pour permettre à un humain de s'y introduire, alors que les portes de l'enceinte sont verrouillées et que le système « presse-équipement(s) périphérique(s) » est en marche. À l'avenir, il serait souhaitable d'avoir des ouvertures suffisamment petites ou d'autres moyens de protection pour



empêcher des intrusions. Par exemple, dans le cas de grosses pièces moulées (ex. : bac de poubelle), imposant donc de grandes ouvertures, des barrages immatériels pourraient être envisagés. Par ailleurs, il serait préférable de munir la presse d'un robot accédant à la zone du moule par le dessus, car des accès latéraux impliquent, malheureusement, la neutralisation nécessaire de certains moyens de protection. Ce fut le cas, par exemple, pour le protecteur du côté opposé à l'opérateur de la presse de l'usine C, pour la barre d'arrêt mécanique et pour le protecteur de l'opérateur de l'usine D. Cette mesure élimine des moyens de réduction du risque qui assuraient la redondance dans le système de commande relatif à la sécurité.



**Figure 24 – Enceinte de protection abritant le robot et la partie du convoyeur ayant un angle rentrant accessible.**

Les critères entourant la conception de ces protections sont définis dans les normes telles que la norme *ISO 14120* [41] dans laquelle les auteurs insistent fortement sur le fait que l'accès à la zone ne doit être possible que si les mouvements dangereux sont stoppés à la suite de l'ouverture d'une porte d'accès, par exemple. Malgré ces recommandations, plusieurs zones dangereuses étaient accessibles. Dans quelques cas, les dimensions mêmes des protecteurs n'empêchaient pas l'accès (par le dessus, par le dessous ou au travers). Ailleurs, certaines portes d'accès n'étaient pas équipées de dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage. De plus, les enceintes de robots n'étaient, pour la plupart, pas conçues autour des prescriptions normatives spécifiques telles que celles qu'on trouve dans la norme *CSA Z434* [43] sur les robots dans laquelle la dimension des enceintes est directement fonction de l'étendue des mouvements du robot, de façon à réduire les risques de coincement ou d'écrasement.

Nous l'avons d'ailleurs constaté au tableau 5, p. 36, quelques presses présentaient l'avantage d'être munies d'un circuit de commande facilitant l'ajout d'équipements périphériques tels que les robots ou les convoyeurs. Les circuits de commande relatifs à la sécurité de la presse pouvaient alors être « étendus » pour stopper les mouvements des robots ou des convoyeurs dans l'éventualité où un des protecteurs était ouvert ou bien si l'arrêt d'urgence était actionné. Il est intéressant de noter ici que de façon générale, l'ouverture du protecteur du côté opposé à l'opérateur de la presse avait comme résultat de stopper les mêmes éléments que l'arrêt d'urgence de la presse. Cette situation n'est pas universelle et dans quelques cas, les circuits de commande relatifs à la sécurité des équipements périphériques étaient complètement

indépendants de celui de la presse. C'est donc dire que dans certains cas, par exemple, un convoyeur pouvait ne pas s'arrêter lors de l'ouverture d'un protecteur ou à la suite de l'actionnement de l'arrêt d'urgence, d'où l'importance des protecteurs d'angle rentrant (figure 25).



**Figure 25 – Protecteur d'angle rentrant, installé sur un rouleau porteur du convoyeur.**

Aucun pont roulant pouvant évoluer au-dessus de la zone du moule n'était relié au circuit de commande de la presse de façon à empêcher ses déplacements dans l'éventualité où un travailleur se trouverait dans la zone du moule. La protection principale de ces équipements reposait toujours sur les consignes et la formation des opérateurs.

## 6. ÉTUDE DE CAS : VALIDATION A POSTERIORI D'UNE FONCTION DE SÉCURITÉ D'UNE PRESSE SELON LA NORME ISO 13849-1

Plus tôt, la section 4.4.2 a expliqué les difficultés confrontées par les intégrateurs en usine. Une difficulté importante soulevée demeure la validation *a posteriori* (c.-à-d., après conception) des fonctions de sécurité relatives aux composants qu'ils intègrent. Dans le but de saisir l'ampleur de ces difficultés et de proposer une marche à suivre pour les aider à valider *a posteriori* une fonction de sécurité, une étude de faisabilité a été réalisée. Cette étude utilise la presse à injection de plastique horizontale du laboratoire « Sécurité des machines » de l'IRSST, à laquelle on a une grande accessibilité, tout comme pour ses plans. Cette presse offre des points pertinents à explorer en ce qui concerne les systèmes de commande relatifs à la sécurité. Quoique le présent rapport concerne ce type de presses et leurs équipements périphériques, l'étude de cas présentée dans ce chapitre focalise uniquement sur la presse. Comme il s'agit d'une étude de faisabilité, mieux vaut commencer par une étude de cas simple : uniquement la presse. Pour cette étude de faisabilité, nous avons choisi de nous mettre dans un contexte similaire à celui auquel les intégrateurs sont confrontés : se prononcer sur le niveau de sécurité (fiabilité) d'un circuit de commande conçu par autrui et ce, sans l'apport du concepteur. On pense que les intégrateurs en usine (concernant les équipements périphériques) pourront utiliser cette démarche basée sur la norme *ISO 13849-1* [31] dont ils devront avoir une connaissance minimale. On pense également qu'ils pourront accéder au fabricant de leur machine pour compléter leur analyse des circuits de commande (pour plus de détails sur la démarche, consulter le chapitre 3 de la référence [3]).

Les normes encadrant le sujet, la démarche de validation appliquée, les résultats de la démarche, la discussion sur les résultats et quelques conclusions pertinentes sont présentés ci-après.

### 6.1 Systèmes de commande relatifs à la sécurité : normes en sécurité des machines

Les systèmes de commande jouent un rôle important dans la sécurité des machines. Dans ce domaine, il existe actuellement deux normes de conception applicables aux systèmes de commande relatifs à la sécurité : *CEI 62061:2005* [40] et *ISO 13849-1:2006* (ou *NF EN ISO 13849-1:2008*, car leur contenu technique est identique) [31]. Cette dernière remplace la norme *EN 954-1:1997* annulée le 31 décembre 2011. Le principe qualitatif des catégories (liées aux parties relatives à la sécurité d'un système de commande) retenu par l'*EN 954-1* fut repris par la norme *ISO 13849-1:2006* qui l'enrichit d'une nouvelle notion probabiliste (quantitative) : le niveau de performance (PL). Celui-ci correspond au « niveau discret d'aptitude de parties relatives à la sécurité à réaliser une fonction de sécurité dans des conditions prévisibles » [31]. On distingue 5 niveaux de performance : a, b, c, d, e, allant de la probabilité moyenne de défaillance dangereuse par heure (PFH<sub>d</sub>) la plus élevée à la plus faible (le PL « a » correspondant au niveau de performance le plus faible). Quant à la catégorie, c'est un des critères pour statuer sur le PL. Il existe 5 catégories, de la plus faible à la plus robuste : B, 1, 2, 3, 4.

## 6.2 Validation *a posteriori* : étapes préliminaires

### 6.2.1 Fonction de sécurité étudiée

La norme *CEI 62061:2005* et la norme *NF EN ISO 13849-1:2008* exigent d'identifier et spécifier la fonction de sécurité avant sa conception. À ce niveau de la démarche, les deux référentiels normatifs de conception peuvent être envisagés. Plus tôt, l'analyse d'accidents a permis de confirmer que :

- les risques principaux sur une presse à injection de plastique demeurent l'écrasement et les brûlures ;
- ces risques se situent au niveau de la zone du moule et de la buse.

Cela explique le choix de la fonction de sécurité étudiée qui s'intitule : « arrêt et empêchement du mouvement de fermeture du plateau mobile par l'ouverture du protecteur de l'opérateur ». Elle protège contre l'un des phénomènes dangereux les plus importants de la presse, par l'ouverture du protecteur de l'opérateur (figure 26). Dans le cadre de la presse étudiée, la fonction de sécurité est identifiée de la manière suivante :

- **action de sécurité** : arrêt du mouvement de fermeture du plateau mobile de la presse ;
- **élément dangereux** : plateau mobile ;
- **déclencheur de l'action de sécurité** : ouverture du protecteur de l'opérateur ;
- **condition de validité de la fonction** : valide durant tout mode de fonctionnement.



Figure 26 – Presse étudiée et son protecteur de l'opérateur [7].

Une fois identifiée, la fonction de sécurité doit être spécifiée afin d'en établir les frontières et d'en cerner les caractéristiques (ex. : ses entrées et ses sorties, sa priorité par rapport à d'autres fonctions, son temps de réaction maximal).

## 6.2.2 Choix de la norme

La norme *ISO 13849-1* s'applique aux parties électriques et non électriques (ex. : hydrauliques, pneumatiques) des systèmes de commande relatives à la sécurité. Par ailleurs, la norme *CEI 62061* concerne les systèmes de commande relatifs à la sécurité, mais uniquement électriques, électroniques et électroniques programmables. Or, une lecture du circuit de la fonction de sécurité a permis de déterminer que, dans le cas présent, les types d'énergie mis en œuvre sont électrique et hydraulique. L'identification de ces énergies a permis de choisir, d'une manière évidente, la norme de conception adaptée à la fonction de sécurité à valider : la norme *ISO 13849-1*. La présente démarche repose donc sur une application de cette norme et est constituée de plusieurs étapes.

## 6.3 Validation a posteriori : étapes subséquentes

### 6.3.1 Recherche du niveau de performance requis ( $PL_r$ )

Le  $PL_r$  est le PL « permettant d'atteindre la réduction du risque requise pour chaque fonction de sécurité » [31]. C'est l'élément phare de la démarche, car au final, la validation consiste à vérifier si le PL estimé est supérieur ou égal au  $PL_r$ .

Dans notre cas, le  $PL_r$  de la fonction de sécurité étudiée est « e ». Cette valeur est fournie par la section 5.2.1 de la norme de type C traitant de presses à injection de plastique : l'*EN 201:2009* [21]. Lorsque le  $PL_r$  n'est disponible dans aucune norme de type C, un moyen de le déterminer est d'utiliser le graphique de la norme *ISO 13849-1*.

Une fois le  $PL_r$  connu, il faut inventorier les critères permettant de conclure sur la validité du PL estimé. Pour statuer sur le PL de la partie du système de commande relative à la sécurité (SRP/CS) réalisant la fonction de sécurité, il convient de parcourir les points applicables ci-dessous :

- 1) recherche de l'architecture désignée ;
- 2) estimation du temps moyen avant défaillance dangereuse ( $MTTF_d$ ) ;
- 3) estimation de la couverture du diagnostic moyenne ( $DC_{avg}$ ) ;
- 4) estimation des mesures contre les défaillances de cause commune (CCF) ;
- 5) vérification des exigences pour le logiciel relatif à la sécurité (non applicable à notre cas, car aucun logiciel ne contribue à la réalisation de la fonction de sécurité étudiée) ;
- 6) vérification des mesures pour contrer les défaillances systématiques ;
- 7) vérification de l'aptitude à exécuter la fonction de sécurité dans des conditions environnementales prévues.

### 6.3.2 Recherche de l'architecture désignée

L'architecture désignée est l'architecture propre à une catégorie donnée. Comme le  $PL_r$  vaut « e », l'architecture désignée doit correspondre à celle d'une catégorie 3 ou 4 d'après la figure 5

de la norme *NF EN ISO 13849-1:2008* (figure basée sur le tableau K.1 de cette norme). La recherche de l'architecture désignée s'est faite par les trois étapes suivantes :

**1) Identification de la structure matérielle (dans ce cas-ci, hydraulique et électrique) réalisant la fonction relative à la sécurité et identification des composants correspondants.**

Cette identification a nécessité une analyse préalable du fonctionnement normal du circuit. Il en est ressorti une structure à deux canaux.

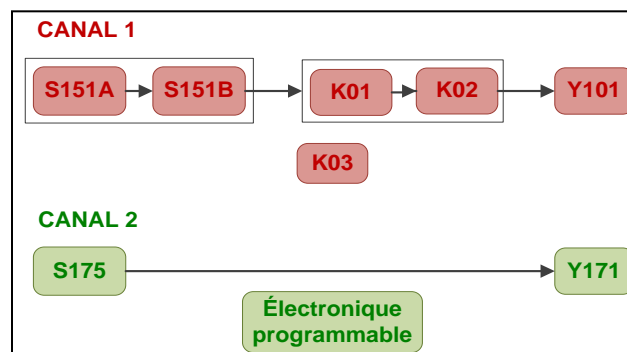
**2) Étude du comportement sous défaut du circuit relatif à la sécurité.**

Une étude permettant de comprendre la résistance du circuit aux défauts a dû être effectuée. Elle est destinée à distinguer les composants responsables du diagnostic de défauts de ceux responsables de la partie fonctionnelle. À cette fin, une analyse en présence de défauts (AMDE : analyse des modes de défaillance et de leurs effets) a été réalisée. Elle a permis de :

- distinguer les composants contribuant à la partie fonctionnelle de la fonction de sécurité de ceux impliqués dans la partie diagnostic ;
- vérifier les critères d'atteinte des catégories 3 et 4 concernant la résistance de la fonction de sécurité aux défauts, ainsi que son comportement en présence de défauts.

L'AMDE a notamment consisté à étudier l'effet de différents défauts uniques sur chacun des composants impliqués dans la réalisation de la fonction de sécurité (figure 27) :

- les interrupteurs de position électromécaniques : S151A, S151B et S175 comme entrées de la fonction de sécurité. Ils sont installés sur le protecteur de l'opérateur pour en détecter l'ouverture ;
- les relais de sécurité (à contacts liés) : K01, K02 et K03. Au début de l'AMDE, nous ignorions si ces relais avaient un rôle fonctionnel ou de diagnostic ;
- les commandes électriques des distributeurs hydrauliques : Y101 et Y171 en guise de sorties de la fonction de sécurité.



**Figure 27 – Architecture de la fonction de sécurité étudiée.**

Deux types de défaut unique ont été étudiés : le composant bloqué à l'état activé et le composant bloqué à l'état désactivé. Ces deux types de défaut unique ont été étudiés pour chacun des trois scénarios suivants : 1) protecteur de l'opérateur fermé, 2) protecteur de l'opérateur qui s'ouvre,



3) protecteur de l'opérateur qui se referme. Un composant autre que les susmentionnés n'a pas pu être étudié : il s'agit d'une carte électronique programmable que nous avons supposée responsable du diagnostic. Malheureusement, nous n'avons pas pu obtenir de renseignements à son sujet, faute d'informations suffisantes de la part du fabricant et du concepteur. Nous avons donc considéré nul son apport en termes de diagnostic. Compte tenu des caractéristiques des interrupteurs S151B et S175, ainsi que de leur installation, nous avons jugé qu'ils bénéficient de l'exclusion de défaut. En effet, des renseignements du fabricant ont indiqué que ces interrupteurs ont des contacts à ouverture forcée. De plus, on a observé sur la presse qu'ils sont montés selon le principe d'actionnement mécanique positif.

Finalement, l'AMDE a révélé que :

- les défaillances à l'origine des défauts uniques ne provoquent pas la perte de la fonction de sécurité ;
- les défauts uniques sont détectés autant que cela est raisonnablement réalisable ;
- les relais K01 et K02 jouent un rôle de traitement de données dans la partie fonctionnelle de la fonction de sécurité, tandis que le relais K03 assure un rôle de diagnostic dont la couverture du diagnostic (DC) a pu être quantifiée selon les critères de la norme *ISO 13849-1*.

### 3) Sélection de l'architecture désignée à la lumière des deux points précédents.

La figure 27 illustre l'architecture de la fonction de sécurité étudiée, déduite des investigations et conclusions d'analyses décrites aux paragraphes précédents. Cette architecture, compatible avec les prescriptions de la catégorie 3, montre que la fonction de sécurité est réalisée par deux canaux.

### 6.3.3 Estimation du $MTTF_d$ , de la $DC_{avg}$ , de la CCF et vérification des autres critères

Du tableau K.1 de la norme, nous déduisons que pour satisfaire un  $PL = e$ , il faut que la fonction de sécurité étudiée appartienne à l'un des deux groupes d'exigences suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} 62 \text{ ans} \leq MTTF_d \leq 100 \text{ ans} \\ DC_{avg} \text{ moyenne,} \\ \text{donc } 90 \% \leq DC_{avg} < 99 \% \\ \text{Catégorie 3} \end{array} \right. \quad \text{OU} \quad \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ ans} \leq MTTF_d \leq 100 \text{ ans} \\ DC_{avg} \text{ élevée} \\ \text{donc } DC_{avg} \geq 99 \% \\ \text{Catégorie 4} \end{array} \right.$$

À l'aide des formules ci-dessous issues de la norme et appliquées à notre cas, nous avons pu calculer le  $MTTF_d$  et la  $DC_{avg}$  :

$$MTTF_d = \frac{2}{3} \left( MTTF_{d \text{ CANAL } 1} + MTTF_{d \text{ CANAL } 2} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{d \text{ CANAL } 1}} + \frac{1}{MTTF_{d \text{ CANAL } 2}}} \right) \quad (1)$$

où :

$$MTTF_{d\ CANAL\ 1} = \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{d\ S151A}} + \frac{1}{MTTF_{d\ K01}} + \frac{1}{MTTF_{d\ K02}} + \frac{1}{MTTF_{d\ Y101}}} \quad (2)$$

$$MTTF_{d\ CANAL\ 2} = \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{d\ Y171}}} \quad (3)$$

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_{S151A}}{MTTF_{d\ S151A}} + \frac{DC_{K01}}{MTTF_{d\ K01}} + \frac{DC_{K02}}{MTTF_{d\ K02}} + \frac{DC_{Y101}}{MTTF_{d\ Y101}} + \frac{DC_{Y171}}{MTTF_{d\ Y171}}}{\frac{1}{MTTF_{d\ S151A}} + \frac{1}{MTTF_{d\ K01}} + \frac{1}{MTTF_{d\ K02}} + \frac{1}{MTTF_{d\ Y101}} + \frac{1}{MTTF_{d\ Y171}}} \quad (4)$$

Remarquons que les  $MTTF_d$  et DC des interrupteurs S151B et S175 ne figurent pas dans ces formules, à cause de l'exclusion de défaut qui leur est attribuée.

Les valeurs de  $MTTF_d$  et de DC par composant (cf. annexes E et F) ont été déterminées à partir de choix arbitraires liés aux conditions d'utilisation de la fonction de sécurité, des informations du fabricant et de données de la norme *ISO 13849-1*, telles que le  $B_{10d}$  (c'est le « nombre de cycles jusqu'à ce que 10 % des composants échouent dangereusement » [31]). Ces paramètres ont été calculés pour deux contextes d'utilisation : un contexte en usine et un contexte en laboratoire.

À propos des CCF, ce sont des « défaillances qui affectent plusieurs entités à partir d'un même événement et qui ne résultent pas les unes des autres » [31]. Concernant l'estimation des mesures pour les contrer, des hypothèses, mais majoritairement des informations fournies par les fabricants de la presse et des composants de la fonction de sécurité ont permis d'établir un score pour estimer les mesures contre les CCF. Dans notre application, ce score est indépendant du contexte d'utilisation de la machine (usine ou laboratoire). Parmi les hypothèses, on a supposé que le concepteur a respecté les principes de base portant sur l'environnement de la machine (principes couverts par la catégorie B) puisque la presse est certifiée CE. Parmi les informations des fabricants, on retrouvait la séparation au niveau du câblage : la logique câblée étant séparée de l'électronique programmable de la presse. Le tableau F.1 : « Procédé de notation pour les mesures contre les CCF » de la norme *ISO 13849-1* a été utilisé pour cette partie de l'analyse.

Afin de statuer sur le niveau de performance d'une fonction de sécurité d'une machine, il faut satisfaire deux derniers critères : la défaillance systématique et l'aptitude des SRP/CS à exécuter une fonction de sécurité dans des conditions environnementales prévues. N'ayant pas d'informations suffisantes du concepteur, ni du fabricant, pour vérifier le respect de ces deux critères, et comme le but de l'exercice est de faire ressortir les difficultés d'une telle démarche d'estimation *a posteriori* du PL d'une fonction de sécurité et de suggérer une démarche d'estimation, nous avons pris pour hypothèse que le concepteur a bien mis en place et vérifié les mesures destinées à satisfaire ces deux critères. Ainsi, nous avons pu déterminer le PL de la fonction de sécurité.

C'est à la lumière d'analyses du circuit étudié et d'informations disponibles dans le manuel du fabricant que la plupart des hypothèses de l'étude ont été posées. Ces analyses ont été confrontées entre différents experts œuvrant en systèmes de commande relatifs à la sécurité.



## 6.4 Validation *a posteriori* : résultats

Une première série de calculs a été effectuée sur le logiciel *Excel*, pour estimer le PL compte tenu des diverses analyses du circuit de la fonction de sécurité et des hypothèses décrites précédemment. Ces calculs ont consisté à obtenir les valeurs de  $DC_{avg}$ , des  $MTTF_d$  par composant et des  $MTTF_d$  par canal selon le contexte d'utilisation (cf. annexe D) de la fonction de sécurité. Les formules 1 à 4 présentées plus tôt, alimentées des caractéristiques techniques relatives aux composants, ont été entrées sur *Excel* afin d'aboutir à ces valeurs. Ces caractéristiques sont présentées aux annexes E et F. Le tableau 9 et le tableau 10 présentent les résultats relatifs à cette première étape.

Une deuxième série de calculs pour estimer à nouveau le PL a été entreprise, cette fois, sur le logiciel *SISStema* (*Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications*) à des fins de vérification et de comparaison des résultats. Les formules 1 à 4 sont déjà intégrées par défaut au processus de calcul de *SISStema*, il suffit d'entrer sur ce logiciel les caractéristiques techniques relatives aux composants de la fonction de sécurité. C'est à partir de ces caractéristiques que les valeurs des  $MTTF_d$  et  $DC_{avg}$  sont obtenues sur *SISStema*. Le tableau 11 et le tableau 12 présentent les résultats relatifs à cette seconde étape. Ces estimations ont été effectuées pour deux contextes d'étude : le contexte du laboratoire de l'IRSST et un contexte d'usine au Québec. Les conditions d'utilisation (ex. : fréquence de sollicitation) de la fonction de sécurité en laboratoire ont été définies selon son utilisation réelle à l'IRSST. Par contre, elles ont été choisies arbitrairement pour le contexte en usine. L'annexe D présente ces conditions.

**Tableau 9 – Contexte « Usine » : résultats obtenus, avec *Excel* et par analyse du circuit, pour l'estimation *a posteriori* du PL.**

Paramètres calculés et critères à vérifier	État du paramètre ou du critère	
Architecture désignée : 2 canaux avec diagnostic	Vérifiée par analyse du circuit et satisfaite	
MTTF <sub>d</sub> résultant	66,67 années → MTTF <sub>d</sub> élevé	
DC <sub>avg</sub>	98,43 % → DC <sub>avg</sub> moyenne	
Score pour contrer les CCF	Score minimal de 65 obtenu	
Exigences de la catégorie B	Satisfaites, par hypothèse	
Un défaut unique de n'importe quel composant n'entraîne pas la perte de la fonction de sécurité	Vérifié par analyse du circuit et satisfait	
Autant que cela est raisonnablement réalisable, le défaut unique est détecté	Vérifié par analyse du circuit et satisfait	
Mesures contre les défaillances systématiques	Certaines ont pu être déduites des plans du circuit ; d'autres ont été considérées satisfaites, par hypothèse	
Aptitude des SRP/CS à exécuter la fonction de sécurité dans des conditions environnementales prévues	Satisfaite, par hypothèse	

**Tableau 10 – Contexte « Laboratoire » : résultats obtenus, avec *Excel* et par analyse du circuit, pour l'estimation *a posteriori* du PL.**

Paramètres calculés et critères à vérifier	État du paramètre ou du critère	
Architecture désignée : 2 canaux avec diagnostic	Vérifiée par analyse du circuit, et satisfaite	
MTTF <sub>d</sub> résultant	100 années*** → MTTF <sub>d</sub> élevé	
DC <sub>avg</sub>	19,64 % → DC <sub>avg</sub> nulle	
Score pour contrer les CCF	Score minimal de 65 obtenu	
Exigences de la catégorie B	Satisfaites, par hypothèse	
Un défaut unique de n'importe quel composant n'entraîne pas la perte de la fonction de sécurité	Vérifié par analyse du circuit et satisfait	
Autant que cela est raisonnablement réalisable, le défaut unique est détecté	Vérifié par analyse du circuit et satisfait	
Mesures contre les défaillances systématiques	Certaines ont pu être déduites des plans du circuit ; d'autres ont été considérées satisfaites, par hypothèse	
Aptitude des SRP/CS à exécuter la fonction de sécurité dans des conditions environnementales prévues	Satisfaite, par hypothèse	

\*\*\* *Excel* a calculé un MTTF<sub>d</sub> de 127 années, mais la valeur 100 est affichée, car la norme demande de limiter ce paramètre à 100.

**Tableau 11 – Contexte « Usine » : résultats obtenus avec *SIStema* pour l'estimation *a posteriori* du PL.**

Paramètres	Valeurs affichées par <i>SIStema</i>
Catégorie	3
Score pour contrer les CCF	65 (pleinement rempli)
MTTF <sub>d</sub> résultant	66,67 années (élevé)
DC <sub>avg</sub>	98,43 % (moyenne)
PL	e

**Tableau 12 – Contexte « Laboratoire » : résultats obtenus avec *SISStema* pour l'estimation *a posteriori* du PL.**

Paramètres	Valeurs affichées par <i>SISStema</i>
Catégorie	Indication du logiciel : « Les exigences relatives à la catégorie choisie [ici, catégorie 3] ne sont pas toutes respectées. Vérifiez dans la liste des exigences de l'onglet 'catégorie' du sous-système. »
Score pour contrer les CCF	65 (pleinement rempli)
MTTF <sub>d</sub> résultant	100 années (élevé)
DC <sub>avg</sub>	19,64 % (nulle)
PL	—

## 6.5 Validation *a posteriori* : discussion

### 6.5.1 Validité des résultats

#### 6.5.1.1 Impact des hypothèses

Les sections 6.2 à 6.4 ont montré que plusieurs hypothèses et déductions logiques émanant d'analyses du circuit ont dû être faites afin d'estimer le PL de la fonction de sécurité étudiée. Rappelons que des hypothèses, basées pour la plupart sur ces analyses, ont été établies concernant :

- les conditions d'utilisation (ex. : fréquence de sollicitation) de la fonction de sécurité prises en compte par le concepteur ;
- le respect, par le concepteur, des exigences requises pour maîtriser, prévenir et éviter une défaillance systématique ;
- l'aptitude de la fonction de sécurité étudiée à s'exécuter dans des conditions environnementales prévues ;
- la fonction de certains composants ;
- les données de fiabilité de certains composants qui n'ont pas pu être obtenues et qui ont été prises dans les tableaux proposés par la norme.

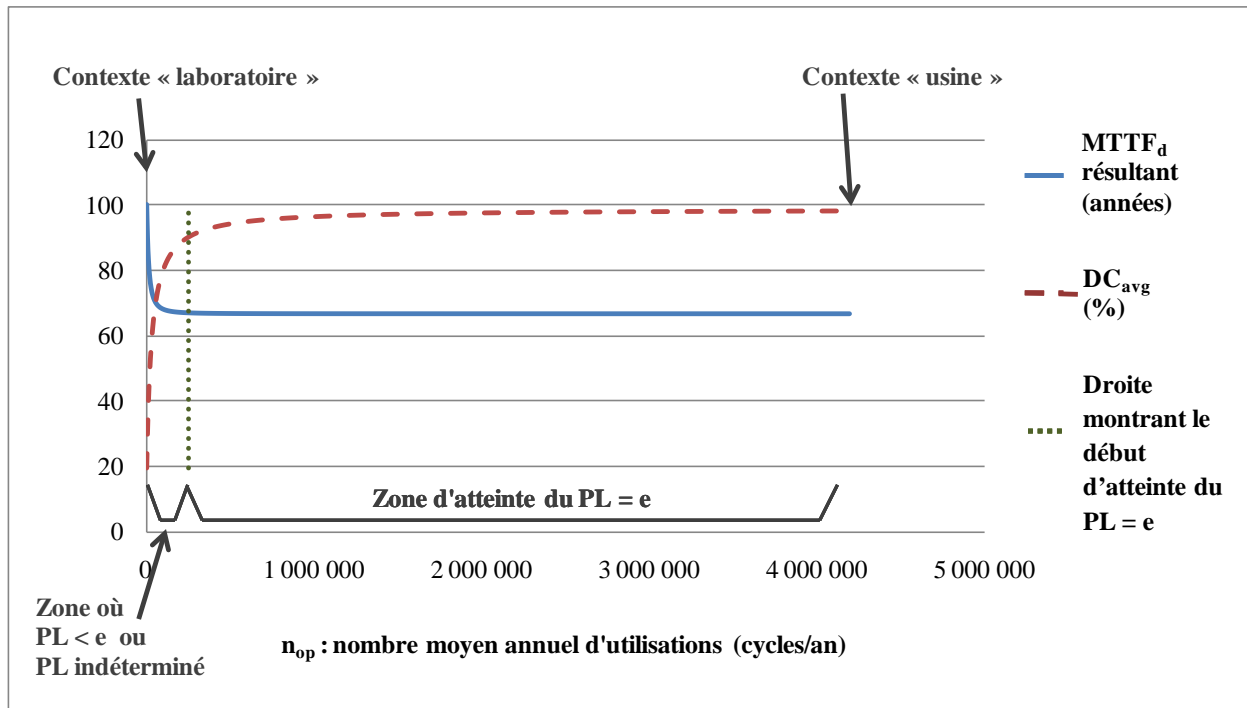
Ces hypothèses influencent le PL estimé. À titre d'exemple, le tableau 9

et le tableau 10, ainsi que la figure 28 montrent que selon les conditions d'utilisation choisies, on peut aboutir à un PL différent, voire à l'impossibilité de statuer sur ce PL.

Comment peut-on expliquer une telle différence de résultats entre les contextes « Laboratoire » et « Usine », alors qu'il s'agit de la même fonction de sécurité pour la même machine ? La figure 28 illustre les courbes du MTTF<sub>d</sub> résultant et de la DC<sub>avg</sub>, ainsi que la droite marquant le début d'atteinte du PL = PL<sub>r</sub> = e pour notre cas. Ces courbes ont été obtenues en faisant varier les conditions d'utilisation de la fonction de sécurité entre celles des deux contextes extrêmes : « Usine » et « Laboratoire ». Puisque, dans notre cas, la valeur du MTTF<sub>d</sub> résultant et de la DC<sub>avg</sub>

dépendent du contexte d'utilisation de la fonction de sécurité, il se produit une évolution de ces paramètres traduite par leurs courbes respectives.

Pour le contexte « Usine » (tableau 13 de l'annexe D), les conditions d'utilisation posées comme hypothèse, les calculs et les analyses ont permis d'obtenir des résultats satisfaisant toutes les exigences d'atteinte du  $PL_r = e$ . Cependant, pour le contexte « Laboratoire » (tableau 14 de l'annexe D), un des critères d'obtention du  $PL_r$  n'a pu être satisfait : la catégorie (ni la 3, ni la 4 n'ont été atteintes) en raison d'une  $DC_{avg}$  nulle. Une  $DC_{avg}$  nulle a été trouvée au lieu de la  $DC_{avg}$  faible ou moyenne exigée par la catégorie 3 et de la  $DC_{avg}$  élevée requise pour la catégorie 4. La formule de calcul de la  $DC_{avg}$  (équation (4)) qui dépend de celle du  $MTTF_d$  par composant (Éq. (D.2) de l'annexe D) permet de comprendre qu'avec un nombre moyen annuel d'utilisations inférieur, on obtient une  $DC_{avg}$  plus faible. Ainsi, comme le montre la figure 28, la  $DC_{avg}$  nulle obtenue pour le contexte « Laboratoire » s'explique par le nombre moyen annuel d'utilisations de la fonction de sécurité, nettement inférieur à celui du contexte « Usine ».



**Figure 28 – Impact du nombre moyen annuel d'utilisations sur le  $MTTF_d$  résultant, la  $DC_{avg}$  et le PL.**

Contrairement au contexte « Usine », pour le contexte « Laboratoire », en plus de ne pas atteindre le  $PL_r$  on obtient un PL indéterminé. Cela est dû au fait que la démarche d'estimation *a posteriori* se base sur une norme dictant une méthode simplifiée d'estimation du PL :

- En considérant les architectures désignées de cette norme, obtenir la catégorie 2 est impossible, car celle-ci exige, entre autres, une  $DC_{avg}$  faible alors que celle calculée est nulle ; on ne peut non plus atteindre les catégories inférieures puisqu'elles exigent un seul canal, or on en a deux. C'est la raison pour laquelle on conclut que la catégorie est indéterminée, ce qui explique le PL indéterminé trouvé.

- Par ailleurs, on pourrait déterminer le PL pour le contexte « Laboratoire » en utilisant une méthode de calcul autre que la méthode simplifiée de la norme qui est basée sur des « architectures désignées ». Parmi ces méthodes de calculs autres, la section 4.5.1 de la norme évoque, par exemple : « la modélisation Markov, *Generalized Stochastic Petri Nets (GSPN)* [réseaux de Petri stochastiques] » [31].

### 6.5.1.2 Impact de la personne qui valide

Un autre facteur influence le PL estimé *a posteriori* : la personne qui analyse la fonction de sécurité et qui détermine les hypothèses. Dans le cadre de l'étude, il a fallu valider une fonction de sécurité dont on ignorait la démarche et la logique utilisées lors de la conception. Alors, nous nous sommes mis à la place du concepteur, en essayant d'imaginer ce qu'il a pensé faire lors de la conception du circuit. Il a donc fallu se soumettre à un exercice de rétro-ingénierie (*reverse engineering*). Par exemple, nous avons supposé que la carte électronique programmable identifiée dans l'architecture de la fonction de sécurité joue un rôle de diagnostic. Faute d'informations suffisantes de la part du fabricant ou du concepteur à propos de cette carte, l'hypothèse d'une DC nulle a dû être évoquée. Cette hypothèse soulève une limitation de la validation *a posteriori* : à moins d'indications par le fabricant ou le concepteur, il n'est pas possible de connaître les fonctions de cartes intégrant des composants programmables. Cette constatation laisse croire qu'on peut plus facilement valider *a posteriori* des circuits comprenant des composants électroniques « élémentaires ». On a donc compris que, selon que cette démarche est accompagnée ou non par le concepteur, les informations disponibles nous permettent d'aboutir à des faits tangibles ou de déboucher sur des déductions ou des hypothèses pouvant conduire à des résultats différents.

Si différentes personnes tentent d'effectuer cet exercice de validation, chacune de leur côté, il ne sera pas étonnant d'arriver à des interprétations différentes au niveau architectural, au niveau des paramètres permettant de statuer sur le PL. En effet, une étude d'estimation du  $PL_r$  par Hietikko, Malm et Alanen [44] montre que plusieurs facteurs, tels que l'expérience de la personne qui entame l'exercice et les hypothèses formulées, contribuent à des divergences du  $PL_r$  estimé. Ce fait observé pour l'estimation du  $PL_r$  est tout aussi plausible pour notre cas d'estimation *a posteriori* du PL. Cela montre bien l'importance de la personne qui valide sur les résultats. Une manière de palier ce fait est d'encadrer la démarche par une équipe d'experts (comme il a été question dans notre étude), afin de confronter diverses logiques et aboutir à un résultat plus éclairé. Cette pratique n'est toutefois pas toujours réalisable en entreprise.

Malgré tout, il semble évident qu'un exercice de validation de ce genre doit être fortement documenté et les hypothèses clairement répertoriées afin d'en connaître les limites. Ces limites sont communiquées dans ce rapport aux utilisateurs de la norme ISO, afin de prévenir ou mieux encadrer toutes modifications d'un circuit de commande relatif à la sécurité par ces derniers. En effet, comme nous l'avons constaté pour le secteur de la plasturgie, l'intégration d'équipements périphériques (ex. : robot, convoyeur) à des presses à injection existantes peut entraîner des modifications aux circuits de commande relatifs à la sécurité.

## **6.5.2 Excel et SISStema : comparaison entre les résultats par rapport à la norme ISO 13849-1**

### **6.5.2.1 Contexte « Usine » : comparaison entre les résultats**

Pour le contexte « Usine », que les calculs aient été effectués par *Excel* ou *SISStema*, le tableau 9 et le tableau 11 montrent des résultats similaires à tous les points de vue : le score pour contrer les CCF, le  $MTTF_d$  résultant, la  $DC_{avg}$ , la catégorie et le PL.

Remarque : Lorsqu'un des paramètres calculés par *SISStema* a une valeur erronée ou témoignant du besoin de changer à temps un composant, le logiciel affiche des commentaires afin d'éveiller la vigilance de son utilisateur. Cet affichage se fait à l'aide de croix rouges. Par exemple, dans notre cas, il a avisé de certains  $MTTF_d$  trop faibles par composant (inférieurs à 3 ans) et de ce fait, le logiciel a signalé qu'il faudra s'assurer du changement à temps du composant en question.

### **6.5.2.2 Contexte « Laboratoire » : comparaison entre les résultats**

Pour le contexte « Laboratoire », le tableau 10 et le tableau 12 montrent que tant avec *Excel* (combiné aux analyses pour déterminer le PL) qu'avec *SISStema*, on obtient les mêmes résultats pour les paramètres suivants : le score pour contrer les CCF, le  $MTTF_d$  résultant, la  $DC_{avg}$  et le PL. Concernant la catégorie, les deux logiciels concordent également, car ils montrent qu'on ne satisfait pas la catégorie 3 pour le contexte « Laboratoire » :

- *Excel*, montre qu'on ne satisfait pas la catégorie 3 en raison de la  $DC_{avg}$  nulle (c.-à-d., inférieure à 60 %) ;
- *SISStema* indique que les exigences permettant de satisfaire la catégorie 3 ne sont pas toutes satisfaites. En effet, lorsqu'on consulte l'onglet « Catégorie » du sous-système, comme nous le suggère *SISStema*, on constate que la seule case conditionnelle à être décochée est celle de l'exigence : «  $DC_{avg}$  est faible ou moyenne ». En effet, la caractéristique d'une  $DC_{avg}$  faible est la suivante :  $60 \% \leq DC_{avg} < 90 \%$  ; celle d'une  $DC_{avg}$  moyenne est :  $90 \% \leq DC_{avg} < 99 \%$ . Or, la  $DC_{avg}$  trouvée est nulle, ce qui explique la case décochée.

La  $DC_{avg}$  nulle trouvée est seulement compatible avec une catégorie 1 ou B. Cependant, pour les raisons mentionnées à la fin de la section 6.5.1.1, il est impossible de statuer sur une catégorie et par conséquent sur un PL. Basés sur nos analyses, ainsi que sur les résultats d'*Excel* et de *SISStema*, nous affirmons que la catégorie et le PL sont indéterminés pour le contexte « Laboratoire ».

Lors de l'utilisation de *SISStema*, nous avons constaté que le logiciel statue sur le PL sans questionner l'utilisateur sur la satisfaction de deux exigences permettant de conclure sur le PL. Il s'agit de :

- la défaillance systématique ;
- l'aptitude à exécuter une fonction de sécurité dans des conditions environnementales prévues.

Celui qui utilise *SISStema* doit donc faire preuve de vigilance : il doit vérifier lui-même ces deux exigences avant de confirmer le PL trouvé par le logiciel. Cela implique qu'une connaissance basique de la norme est nécessaire avant d'utiliser ce logiciel.

### 6.5.2.3 Comparaison entre le PL et le PL<sub>r</sub>

Pour valider le PL, on le compare au PL<sub>r</sub>. Dans le contexte « Usine », que ce soit avec *Excel* ou *SISStema*, le PL obtenu vaut « e » comme le PL<sub>r</sub>, donc satisfait celui-ci ; tandis que dans le contexte « Laboratoire », c'est le contraire. L'encadrement de cette estimation *a posteriori* par une équipe possédant plusieurs années d'expérience dans la conception de systèmes de commande relatifs à la sécurité optimise les résultats obtenus - sans pour autant en être certain -, dans la mesure où le concepteur avait appliqué la norme *NF EN ISO 13849-1:2008*.

## 6.6 Validation *a posteriori* : conclusion

Une démarche de validation d'une fonction de sécurité d'une presse à injection de plastique horizontale a été présentée. La validation consistait à estimer *a posteriori* le niveau de performance de cette fonction de sécurité. Pour des raisons technologiques, la démarche s'est basée sur la norme de conception *NF EN ISO 13849-1:2008*. Pour le contexte « Usine », le PL estimé satisfait le PL<sub>r</sub> = e. Par ailleurs, pour le contexte « Laboratoire », le PL est indéterminé et ne satisfait pas le PL<sub>r</sub>.

Compte tenu des hypothèses à formuler pour réaliser une telle validation sans l'aide du concepteur de la machine, estimer *a posteriori* le PL d'une fonction de sécurité conduit à des résultats qui doivent être considérés avec prudence :

- Le travail de rétro-ingénierie (*reverse engineering*) imposé n'est pas simple à réaliser sans l'aide du concepteur. Selon la personne qui entreprend cette démarche, les résultats liés aux conditions d'utilisation choisies, à l'interprétation de l'analyse du circuit, au MTTF<sub>d</sub>, à la DC<sub>avg</sub> et au score pour contrer les CCF peuvent différer et conséquemment affecter le PL estimé. Il faut donc s'entourer d'une équipe ayant de l'expérience en matière de systèmes de commande relatifs à la sécurité pour optimiser la justesse des résultats. Par ailleurs, il serait intéressant d'étudier la variabilité des résultats de validation d'un même circuit de commande effectuée par différents experts.
- Ce travail nécessite de formuler plusieurs hypothèses. En effet, la difficulté principale de l'étude est due au manque de données que seul le concepteur aurait pu fournir. Les incertitudes liées à ces hypothèses ont une influence sur le PL estimé. Par exemple, nous avons émis l'hypothèse que toutes les mesures pour contrer les défaillances systématiques ont été respectées par le concepteur. Si cette hypothèse se révélait être fautive, il serait impossible de déterminer le PL. Une des exigences permettant de l'estimer ne serait pas satisfaite et, par ricochet, ne satisfierait pas le PL<sub>r</sub>. Un autre moyen d'optimiser la justesse des résultats est de minimiser le nombre d'hypothèses en s'aidant du concepteur, dans la mesure du possible. Cette situation n'est malheureusement pas toujours réalisable. Ainsi, les utilisateurs en entreprises vont devoir faire face aux hypothèses et aux données manquantes s'ils ont à effectuer un exercice similaire en utilisant la norme *ISO 13849-1*. Pour pallier ce manque, s'aider du fabricant serait une alternative appréciable.



## 7. CONCLUSIONS

Somme toute, les objectifs de l'étude de recherche ont été atteints puisque nous avons pu :

- identifier les facteurs de risques et les agents causals relatifs aux accidents impliquant des presses à injection de plastique horizontales ayant des équipements périphériques (sections 4.1 et 4.2) ;
- répertorier les moyens de réduction du risque existants dans la littérature (section 4.2) ;
- identifier les composantes du risque associées à des interventions de maintenance et de production sur les presses et leurs équipements périphériques, lors de huit visites en entreprises (section 4.4 et annexe C). Les risques inhérents à ces deux interventions étaient essentiellement similaires puisque la problématique concernait la même situation : le travailleur accédant à la zone du moule. De plus, la durée ou fréquence d'exposition aux phénomènes dangereux de cette zone était élevée dans les deux cas (sections 5.5 et 5.6) ;
- caractériser les pratiques d'interventions de maintenance et de production observées lors des visites (section 4.4.1) ;
- analyser les moyens de réduction du risque utilisés pour les systèmes visités (chapitre 5) ;
- soulever des questions permettant d'apprécier l'efficacité de ces moyens de réduction du risque (chapitre 5) ;
- décrire et appliquer la démarche de validation d'un circuit de commande basée sur la norme *NF EN ISO 13849-1:2008* mais dans un contexte particulier, c'est-à-dire *a posteriori* et sans la participation du concepteur (chapitre 6).

L'étude a révélé plusieurs points importants :

Les facteurs de risque sont multiples, d'ordres techniques et organisationnels. Les solutions semblent être connues (ex. : procédure de travail formelle, utilisation de protecteurs munis de dispositifs de verrouillage, cadenassage). Néanmoins, la mise en œuvre de ces solutions semble poser quelques défis. Le contournement des moyens de protection est un élément important, tout comme l'absence de protecteur, qui a aussi été constaté. La sécurité fonctionnelle des systèmes de commande ne semble pas être un élément prépondérant. Quand les systèmes de commande sont identifiés comme un agent causal, les lacunes se situent principalement au niveau du non-respect des principes de sécurité de base et éprouvés.

Les entreprises qui ont participé à l'étude sont de moyennes et grandes entreprises qui possèdent toutes un préventiviste et/ou un comité SST. Or, en se basant sur l'analyse des rapports d'accidents et d'interventions, on peut conclure que les petites entreprises sont moins bien structurées en matière de SST. On peut donc supposer que les lacunes qui ont été observées lors des visites pourraient être plus importantes dans ces petites entreprises. Cependant, l'absence de visites dans cette catégorie d'entreprise ne permet pas de vérifier cette supposition.

Le cadenassage semble être un moyen de réduction du risque qui est accepté et pratiqué en usines lors des interventions de maintenance. Néanmoins, le cadenassage pratiqué se limite à la condamnation du panneau de commande lors du nettoyage et du polissage du moule ou à la condamnation d'un protecteur mobile lors du changement de moule. Pour le changement de

moule, le cadenassage ne semble pas être un moyen privilégié par les usines pour deux raisons : le chauffage est requis afin d'éviter que le plastique se solidifie dans l'unité d'injection et les mouvements du plateau pour ajuster le moule sont requis. Les travailleurs intervenant dans la zone du moule se fient au bon fonctionnement du système de verrouillage du protecteur mobile de l'opérateur et du protecteur mobile du côté opposé à l'opérateur. En complémentarité, l'arrêt d'urgence est utilisé, ce qui est positif. De plus, dans un cas, le panneau de commande est condamné à l'aide d'un couvercle transparent et un cadenas. Dans un autre cas, un cadenas bloque le protecteur de l'opérateur en position ouverte sur son rail. Dans les deux cas, la mesure vise à empêcher le démarrage intempestif de la machine dû à l'action d'un travailleur.

L'accès à la zone du moule en grimpant sur la presse demeure un problème recensé lors de l'analyse des rapports de la CSST et observé lors des visites. Comme nous l'avons remarqué, l'utilisation d'une plateforme au-dessus du plateau mobile sert à pallier ce problème. Toutefois, la zone au-dessus du moule n'est pas protégée par un protecteur, afin de faciliter les changements de moule et de permettre au robot de récupérer les pièces. Il semble que des procédures de travail sécuritaires, le respect de ces procédures, la formation, la sensibilisation aux risques encourus demeurent des moyens à renforcer en usine.

L'utilisation de détecteurs de présence dans la zone du moule est rare, malgré le fait que cette zone soit dangereuse, surtout quand la taille de la presse et la géométrie des moules rendent la visibilité plus difficile.

La démarche décrite dans la norme *NF EN ISO 13849-1:2008* appliquée à une fonction de sécurité d'une presse à injection a été présentée. La faisabilité d'une validation *a posteriori* sans l'apport du concepteur a été étudiée pour la première fois. Cette démarche a été nécessaire, car les visites en usines ont révélé que le contenu de cette norme était inconnu ou peu maîtrisé. C'est dommage, car cette norme établit les règles de l'art pour la conception et la validation de systèmes de commandes relatifs à la sécurité de toute technologie. Les intégrateurs rencontrés lors des visites ont trouvé que la norme *ISO 13849-1* était difficile à appliquer. On espère que la démarche décrite dans le rapport aidera les intégrateurs de système de commande relatifs à la sécurité dans l'application de cette norme. Par ailleurs, au niveau international, les fabricants de machines partagent l'avis de ces intégrateurs et un processus de fusion entre les deux normes de conception de système de commande a été entamé afin de faciliter l'usage de ces documents normatifs.

Enfin, la démarche de validation *a posteriori* proposée est transposable à des fonctions de sécurité provenant de machines automatisées autres que les presses à injection de plastique horizontales. De plus, nous pensons que la grille décrivant les composantes du risque et les moyens de réduction du risque observés, présentée à l'annexe C, devrait aider les entreprises du secteur de la plasturgie et d'autres secteurs lors de démarches d'appréciation du risque.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE, DE L'INNOVATION ET DE L'EXPORTATION DU QUÉBEC. « Plasturgie – Présentation de l'industrie », Ministère du développement économique, de l'innovation et de l'exportation du Québec. Repéré à {[http://www.mdeie.gouv.qc.ca/objectifs/informer/par-secteur-dactivite/plasturgie/page/le-secteur-10856/?tx\\_igaffichagepages\\_pi1%5Bmode%5D=single&tx\\_igaffichagepages\\_pi1%5BbackPid%5D=155&tx\\_igaffichagepages\\_pi1%5BcurrentCat%5D=&cHash=0aec2e982dabba32107c7680cdbe9095](http://www.mdeie.gouv.qc.ca/objectifs/informer/par-secteur-dactivite/plasturgie/page/le-secteur-10856/?tx_igaffichagepages_pi1%5Bmode%5D=single&tx_igaffichagepages_pi1%5BbackPid%5D=155&tx_igaffichagepages_pi1%5BcurrentCat%5D=&cHash=0aec2e982dabba32107c7680cdbe9095)} (Dernière consultation : 27 septembre 2012).
- [2] INDUSTRIE CANADA. « Machines et moules à plasturgie », Industrie Canada. Repéré à {<http://www.ic.gc.ca/eic/site/plastics-plastiques.nsf/fra/pl01409.html>} (Dernière consultation : 10 août 2010).
- [3] JOCELYN, Sabrina. Identification et réduction du risque pour les interventions de maintenance et de production sur des presses à injection de plastique en entreprises, Mémoire (M.Sc.A.), École Polytechnique de Montréal, 2012, 247 pages.
- [4] COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CSST). La modernisation du régime de santé et sécurité du travail, Québec, CSST, 2011. Repéré à {[http://www.csst.qc.ca/publications/Documents/Modernisation\\_du\\_r%C3%A9gime\\_de\\_sant%C3%A9\\_et\\_s%C3%A9curit%C3%A9\\_du\\_travail.pdf](http://www.csst.qc.ca/publications/Documents/Modernisation_du_r%C3%A9gime_de_sant%C3%A9_et_s%C3%A9curit%C3%A9_du_travail.pdf)} (Dernière consultation : 28 septembre 2012).
- [5] PUBLICATIONS DU QUÉBEC. « Loi sur la santé et la sécurité au travail (LSST) », Publications du Québec, Éditeur officiel du Québec. Repéré à {[http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S\\_2\\_1/S2\\_1.html](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S_2_1/S2_1.html)} (Dernière consultation : 28 septembre 2012).
- [6] COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CSST). « Principaux risques de lésions par secteur d'activité », CSST. Repéré à {<http://www.csst.qc.ca/prevention/risques/Pages/selectionsecteur.aspx?SCIAN=3261>} (Dernière consultation : 27 septembre 2012).
- [7] CHINNIAH, Yuvin et Mathieu Champoux. « La sécurité des machines automatisées - Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique », Rapport de recherche R-557, Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 2008, 83 pages.
- [8] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION (ISO). Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque. Genève (Suisse), ISO, février 1999, 18 pages (*ISO 14121:1999*).
- [9] JOCELYN, Sabrina, Serge Massé et Christian Sirard. « Presse à injection de plastique horizontale – Grilles de vérification de la sécurité », Guide RG-670, Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 2011, 13 pages.
- [10] MUNCH, Thomas. Presses à injecter - Fonctions et solutions constructives, in Matériaux, vol. AM 3 671, Paris, Techniques de l'ingénieur, 2009, p. 1-16 (livre électronique).

- [11] SONET, J. et Guy Sanlias. « Sécurité dans la transformation des matières plastiques – Tome I Conseils aux opérateurs et aux régleurs », Paris, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 1974, 170 pages.
- [12] EPICEA. « EPICEA Affichage d'un dossier », EPICEA, 2010. Repéré à [http://epicea.inrs.fr/servlet/public\\_display](http://epicea.inrs.fr/servlet/public_display) (Dernière consultation : 22 avril 2010).
- [13] DOBRACZYNSKI, Alexandre et Michel Chatain. « Injection des thermoplastiques : les moules », in Matériaux, vol. A3680, Paris, Techniques de l'ingénieur, 1995, p. 1-64 (livre électronique).
- [14] VENTRIS, G.L. et al. « Safety guidance on the guarding and use of injection moulding machines in the plastics and rubber industries ». Repéré à <http://www.bpf.co.uk/Search/Default.aspx?q=injection+moulding> (Dernière consultation : 29 octobre 2012).
- [15] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION (ISO). Sécurité des machines – Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses. Genève (Suisse), ISO, 2008, 18 pages. (ISO 13857:2008).
- [16] PUBLICATIONS DU QUÉBEC. « Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) », Publications du Québec, Éditeur officiel du Québec. Repéré à [http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FS\\_2\\_1%2FS2\\_1R19\\_01.htm](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FS_2_1%2FS2_1R19_01.htm) (Dernière consultation : 2 juillet 2010).
- [17] BEAUCHAMP, Yves, Anh Dung Ngô, Guillaume Yengue et Conrad Trudel. « Les problèmes de sécurité associés à l'utilisation des presses à injecter les plastiques », in Actes du 15 Congrès de l'Association pour l'Hygiène Industrielle au Québec, 1993, p. 26-33.
- [18] MARINATCHI, Line et Jocelyne Arsenault. « Gréage et appareils de levage », Longueuil, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la fabrication de produits en métal, de la fabrication de produits électriques et des industries de l'habillement (ASPHME), 2010, 92 pages.
- [19] TOLINSKI, Michael. « Safety-Versed for Safety first », *Plastics Engineering*, vol. 60, no. 12, 2004, p. 26-27.
- [20] GIRAUD, Laurent, Serge Massé, Julie Dubé, Luc Schreiber et André Turcot. « Sécurité des convoyeurs à courroie - Guide de l'utilisateur », Guide technique DC 200-16227-1 (04-01), Montréal, 2003, 79 pages.
- [21] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). Machines pour les matières plastiques et le caoutchouc – Machines de moulage par injection – Prescription de sécurité. La Plaine Saint-Denis (France), AFNOR, décembre 2009, 85 pages (NF EN 201:2008).
- [22] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). American National Standard for Plastics Machinery - Horizontal Injection Molding Machines - Safety Requirements for Manufacture, Care, and Use. New-York (USA), ANSI, février 2007, 71 pages (ANSI/SPI B151.1).

- [23] HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). « Safety at injection moulding machines – Plastics Processing Sheet No 4 », Sudbury (Angleterre), HSE, édition : juin 1999, 4 pages.
- [24] GEADAH, Waguih et Patricia Vega. « Dossier - Conformité des équipements », Santé Sécurité+, vol. 27, n° 3, 2010, p. 5-8.
- [25] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). American National Standard for Plastics Machinery - Horizontal and Vertical Injection Molding Machines - Safety Requirements for the Integration, Care, and Use. New-York (USA), ANSI, septembre 2003, 22 pages. (ANSI B151.27).
- [26] RICHARD, J.G. « Prévention intégrée à la conception : la contribution de l'ergonomie », in Comptes-rendus 31<sup>e</sup> Congrès annuel de l'Association canadienne d'ergonomie (ACE) « Ergonomie et sécurité », 1999, p. 251-255.
- [27] LAMBERT, Normand et Denis Marchand. « Accident mortel survenu à un travailleur le 8 mai 2003, à l'usine "Les produits multifoam international" de St-Nicéphore », Rapport d'enquête d'accident RAP0184332, Mauricie-Centre-du-Québec, Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), 2003, 15 pages.
- [28] SUVAPRO. « Liste de contrôle – Machines à injecter (îlots de production) », référence : 67130.f, Lausanne (Suisse), édition : mars 2010, 4 pages.
- [29] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION (ISO). Sécurité des machines — Principes généraux de conception — Appréciation du risque et réduction du risque. Genève (Suisse), ISO, novembre 2010, 82 pages. (ISO 12100:2010).
- [30] BÖMER, Thomas et Michael Schaefer. « Differences between using standard components or safety components to implement safety functions of machinery », Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Repéré à {[http://www.dguv.de/ifa/en/prae/en13849/standard\\_components.pdf](http://www.dguv.de/ifa/en/prae/en13849/standard_components.pdf)} (Dernière consultation : 2 août 2011).
- [31] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception. La plaine Saint-Denis (France), AFNOR, octobre 2008, 85 pages (NF EN ISO 13849-1:2008).
- [32] SAFETY AUTOMATION. « APS (Automate Programmable de Sécurité) ou APIdS (Automate Programmable dédié à la Sécurité) », Safety automation. Repéré à {<http://safety-automation.agence-presse.net/2010/04/16/automate-programmable-de-securite/>} (Dernière consultation : 25 novembre 2011).
- [33] DEI-SVALDI, D. et Kneppert, M. « Gestion des fonctions de sécurité par automate programmable dédié à la sécurité (APIdS) », Les notes scientifiques et techniques de l'i.n.r.s NS 0224, Vandoeuvre-lès-Nancy, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 2002, 24 pages.
- [34] BAUDOIN, James et Jean-Paul Bello. « Guide pratique d'application de la norme NF EN 62061 », " Rapport technique IET/10RT-257/JBn/JBo, Vandoeuvre-lès-Nancy, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 2010, 56 pages.

- [35] PAQUES, Joseph-Jean. « Règles sommaires de sécurité pour l'utilisation des automates programmables industriels (API) », Rapport de recherche B-028, Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 1991, 19 pages.
- [36] Göttler, Werner. « Comment régler sans danger les machines à moulage par injection », Feuillet d'information sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles 1025, Lucerne, Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (CNA), 1970, 2 pages.
- [37] CHINNIAH, Yuvin, François Gauthier, Serge Lambert et Florence Moulet. « Analyse expérimentale des outils d'estimation du risque associé aux machines industrielles », Rapport de recherche R-697, Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 2011, 83 pages.
- [38] PAQUES, Joseph-Jean et al. « Sécurité des machines : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommage », Pochette DC 900-337-1PDF (06-11), Montréal, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST) et Institut de recherche Robert-Sauvé, 2004, 15 pages.
- [39] ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION (CSA). Maîtrise des énergies dangereuses : cadenassage et autres méthodes. Mississauga (Canada), CSA, mai 2006, 100 pages (CSA Z460-05).
- [40] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). Sécurité des machines – Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité. La Plaine Saint-Denis (France), AFNOR, juillet 2005. (NF EN 62061:2005).
- [41] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION (ISO). Sécurité des machines - Protecteurs : prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles. Genève (Suisse), ISO, 2002, 26 pages (ISO 14120:2002).
- [42] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). Sécurité des machines - Arrêt d'urgence : principes de conception. La Plaine Saint-Denis (France), AFNOR, 2008, 6 pages (NF EN ISO 13850:2008).
- [43] ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION (CSA). Robots industriels et systèmes robotiques : exigences générales de sécurité. Mississauga (Canada), CSA, 2003, 89 pages (CSA Z434).
- [44] HIETIKKO Marita, Timo Malm, Jarmo Alanen. « Risk estimation studies in the context of a machine control function », Reliability Engineering and System Safety, vol. 96, n° 7, 2011, p. 767-774.
- [45] JOCELYN, Sabrina, James Baudoin, Yuvin Chinniah et Philippe Charpentier. « An *a posteriori* estimation of the performance level for a safety function using NF EN ISO 13849-1:2008 », in Proceedings of the 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems, 2012, p. 127-132.

## ANNEXES

### ANNEXE A - Version finale de l'outil de collecte de données utilisé pour les visites

Pour  
L'activité de recherche :

**« Sécurité des presses à injection de plastique ayant des équipements périphériques lors des interventions de maintenance et de production en entreprises »**

Rempli par :

-----




Date :

-----

Consigne :

Pour remplir cet outil, obtenez l'information requise en interrogeant vos interlocuteurs, en demandant à un travailleur qualifié d'effectuer des essais de fonctionnement ou en observant l'environnement étudié. Tout au long de ce document, les symboles expliqués dans la légende suivante indiqueront comment obtenir l'information requise.

Légende :

	Poser la question pour obtenir l'information		Demander un essai (une démonstration) de fonctionnement pour obtenir l'information		Observer pour obtenir l'information
---	--	---	--	---	-------------------------------------



## ? Partie A : Prise de contact (à remplir en salle de réunion)

### Identification de l'usine et des interlocuteurs :

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

\* Ex. : 1. Changeur de moule 2. Technicien en maintenance 3. Ingénieur 4. Responsable SST 5. Gestionnaire 6. Autre?

### Interventions de maintenance et de production dans la zone du moule :

Caractérisation (poser les questions A.1 à A.5 à un technicien)

	Tâche	Motif de la tâche	Durée de la tâche	Fréquence de la tâche	Durée de présence dans la zone du moule	Cadenassage?	Autres méthodes? Précisez.
A.1						<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
A.2						<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
A.3						<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
A.4						<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
A.5						<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	

### Système « presse-périphériques » étudié - Documentation pouvant être fournie :

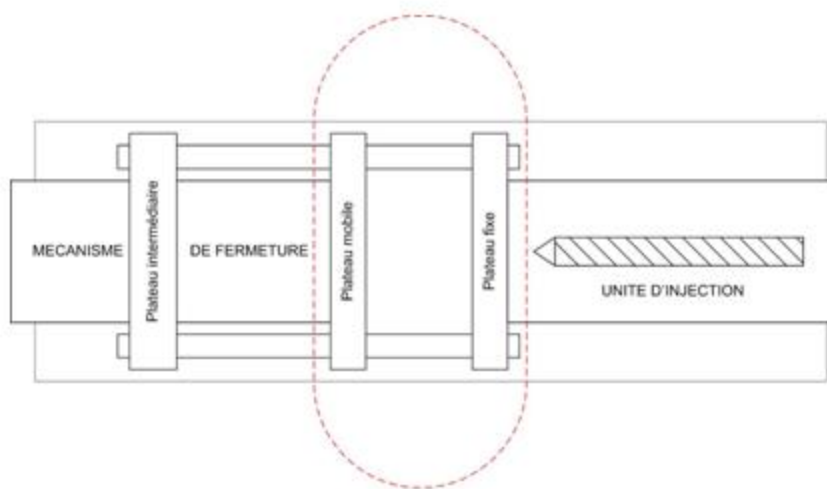
- Analyse du risque (de la presse et/ou des périphériques)
- Validation de circuits de commande par un ingénieur
- Plans du système
- Fiches de cadenassage



## Partie B : Identification du système «presse-périphérique(s)» étudié (à remplir devant le système étudié)

 Identifiez et placez sur ce schéma les périphériques considérés et les moyens de protection :

- |  |   |   |                                      |  |
|--|---|---|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Robot                           | <input type="checkbox"/> Convoyeur                    | <input type="checkbox"/> Palan/Pont roulant | <input type="checkbox"/> Granulateur | <input type="checkbox"/> Autre : _____ |
| <input type="checkbox"/> Protecteur de l'opérateur       | <input type="checkbox"/> Protecteur de décharge       | <input type="checkbox"/> Rideau lumineux    |                                      |  |
| <input type="checkbox"/> Protecteur opposé à l'opérateur | <input type="checkbox"/> Système de blocage mécanique | <input type="checkbox"/> Cage               |                                      |  |
| <input type="checkbox"/> Protecteur du dessus            | <input type="checkbox"/> Tapis sensible               | <input type="checkbox"/> Autre :            |                                      |  |



VUE DE DESSUS

## Partie B : Identification du système «presse-périphérique(s)» étudié (suite)

(à remplir devant le système étudié)

		? ⓘ	Presse
B.1	Produits fabriqués par la presse au moment de la visite		
B.2	Marque		
B.3	Modèle / N° de série		
B.4	Année de fabrication		
B.5	Année d'installation		
B.6	Numéro d'identification dans l'usine		
B.7	Presse certifiée? Si oui, précisez (ex : CE).		
B.8	Tonnage		
B.9	Énergies présentes dans la zone du moule : hydraulique, électrique, pneumatique (ex. : au niveau des noyaux), autres		

		? ⓘ	Périphérique 1	Périphérique 2	Périphérique 3	Périphérique 4
B.10	Type (ex. : robot parallèle; convoyeur)					
B.11	Fonction (ex. : récupérer carottes ou pièces; assembler)					
B.12	Marque					
B.13	Modèle / N° de série					
B.14	Année de fabrication					
B.15	Année d'installation					
B.16	Numéro d'identification dans l'usine					
B.17	Énergies présentes dans le périphérique					



C.4 Intégrateur des périphériques au système de commande de la presse :

Personnel qualifié à l'interne     Organisme externe     Fabricant     Autre : \_\_\_\_\_

C.5 Intégration faite à partir des plans de la presse et des périphériques :     Oui     Non

C.6 Encadrement de l'intégration par:     Concepteur     Fabricant     Vendeur

Autre : \_\_\_\_\_

C.7 Coordination « presse-périphériques » :

- Gestion du système par un même API
- Communication entre les APIs de chaque
- API(s) dédié(s) à la sécurité

Remarque :

C.8 Démarche pour passer de « presse » à « presse-périphérique(s) » :

Conditions d'activation? Sur quels organes de commande appuyer?

---



---



---

Quels changements des moyens de protection cela implique-t-il ?

- Neutralisation d'un protecteur ou dispositif de protection (ex. : la machine " croit " que le protecteur est fermé)
- Autorisation de fonctionner avec protecteur ouvert (la machine " sait " que le protecteur est ouvert)
- Autre : \_\_\_\_\_

---



---



---



---

**C.9 Démarche pour passer de « périphérique(s) » à « presse-périphérique(s) » :**

(ex. : Conditions d'activation? Sur quels organes de commande appuyer? Changement de programme ou de branchement? Neutralisation de moyens de protection?)

---

---

---

---

---

---

---

---

**Éléments mobiles - Maîtrise du système « presse-périphériques » par l'intervenant dans la zone étudiée**

**C.10 Mesures de prévention contre un démarrage par un tiers ? (L : 22, 29, 32)**

---

---

---

---

**C.11 Protection contre un démarrage INTEMPESTIF ? (L : 2, 4, 30)**

---

---

---

---



## Partie D : Identification des risques

(à remplir devant le système « presse-périphérique(s) » étudié)

Phénomènes dangereux, événements dangereux ou dommages potentiels auxquels sont exposés les travailleurs au cours de leurs interventions de maintenance et de production dans la zone du moule du système :

- 1. Coincement / écrasement par l'ouverture du moule
- 2. Coincement / écrasement par la fermeture du moule
- 3. Coincement par les éjecteurs ou les noyaux
- 4. Chute du moule
- 5. Heurt par le moule ou l'appareil de levage
- 6. Heurt par un robot en mouvement
- 7. Entraînement et coincement par un convoyeur
- 8. Électrisation / électrocution (énergie électrique)
- 9. Risque thermique - brûlures par : le moule, des projections de plastique ou de gaz
- 10. Autre :

Cette liste permet de vérifier les risques présents dans la zone du moule de la presse ayant des périphériques. La remplir permet de savoir rapidement quels chapitres de la section suivante seront applicables au système.

## Partie E : Moyens de réduction du risque

(Répondre aux questions devant le système « presse-périphérique(s) »)

### Arrêt d'urgence et réarmement



Type d'arrêt d'urgence (AU):

Organe(s) d'AU facilement accessible(s) depuis la zone du moule ? \_\_\_\_\_

- Câble** → Nombre : \_\_\_\_\_  
Tendu :  Oui  Non  
Facilement remarquable :  Oui  Non
- Bouton** → Nombre : \_\_\_\_\_  
 Rouge  Non encastré  Type champignon  Sur fond jaune  
Facilement remarquable :  Oui  Non
- Pédale** → Nombre : \_\_\_\_\_  
 Facilement accessible (aucun capot protecteur)
- Barre** → Nombre : \_\_\_\_\_
- Manette** → Nombre : \_\_\_\_\_



Effet de l'AU :

AU<sub>presse</sub> agit sur :

- Presse
- Tous les périphériques
- Une partie des périphériques : \_\_\_\_\_

AU<sub>chaque périphérique</sub> agit sur :

- Presse
- Tous les périphériques
- Une partie des périphériques : \_\_\_\_\_
- Périphérique correspondant



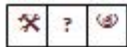
Réarmement manuel requis pour démarrer le système après l'activation de l'AU :  Oui  Non



Y-a-t-il un réarmement :

- Pour la presse ?
- Par périphérique ?
- Pour l'ensemble " presse-périphérique(s) " ?





## E.1 Fermeture / ouverture du moule et coincement par les éjecteurs ou les noyaux - Moyens contre ces risques

N.B. Répondre en premier aux questions **✖** et **?**

Identification des dispositifs de protection :

	Observations :
<input type="checkbox"/> Système de blocage mécanique du moule	Barre : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Fonctionnel ? _____ Autre : _____
<input type="checkbox"/> Tapis sensible	
<input type="checkbox"/> Rideau lumineux	
<input type="checkbox"/> Autre :	

Identification des protecteurs :

	③ Fixe	Mobile		③ Nombre de détecteurs de positions du protecteur	③ Nature des détecteurs de position (capacitif ou inductif, électromécanique à came ou à clé, etc.)
		⚡ Verrouillé	⚡ Interverrouillé		
<input type="checkbox"/> Protecteur de l'opérateur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Protecteur opposé à l'opérateur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Protecteur du dessus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Protecteur de décharge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Autre :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Remarque :

--



**Efficacité des dispositifs de protection**

<p><b>✘ Essais à faire en mode manuel!</b>  <b>✘ Ne pas se mettre dans la zone du moule pour faire les essais!</b></p>		Système de blocage mécanique du moule	Tapis sensible	Rideau lumineux
	Enclencher le blocage mécanique, appuyer sur le tapis ou occulter le rideau :			
✘	→ empêche la fermeture du plateau mobile	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
✘	→ empêche le mouvement des éjecteurs	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
✘	→ empêche le mouvement de quels autres éléments mobiles du système?			
?	Dans quels modes ?	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-automatique <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-automatique <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-automatique <input type="checkbox"/> Manuel
✘	→ permet le mouvement de quels éléments mobiles du système ?			
?	Dans quels modes ?	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-automatique <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-automatique <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-automatique <input type="checkbox"/> Manuel
✘	Redémarrage volontaire requis pour faire bouger des éléments mobiles du système après que les rideaux ne soient plus occultés ou que le tapis ne soit plus appuyé	Non applicable	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non

Remarque :

Efficacité des protecteurs

<b>✖ Essais à faire en mode manuel!</b>		Protecteur op.	Protecteur ≠ op.	Protecteur dessus	Protecteur décharge
<b>Ouvrir un protecteur :</b>					
<b>✖</b>	→ arrête instantanément ou empêche la fermeture du plateau mobile	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
<b>✖</b>	→ arrête instantanément ou empêche le mouvement des éjecteurs	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
<b>✖</b>	→ arrête ou empêche le mouvement de quels autres éléments mobiles du système ?				
<b>?</b>	Dans quels modes ?	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-auto <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-auto <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-auto <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-auto <input type="checkbox"/> Manuel
<b>✖</b>	→ permet le mouvement de quels éléments mobiles du système ?				
<b>?</b>	Dans quels modes ?	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-auto <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-auto <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-auto <input type="checkbox"/> Manuel	<input type="checkbox"/> Automatique <input type="checkbox"/> Semi-auto <input type="checkbox"/> Manuel
<b>✖</b>	Redémarrage volontaire requis pour faire bouger des éléments mobiles du système après avoir replacé un protecteur	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non

<b>🔗 Schématiser les détecteurs de position sur les moyens de protection en indiquant s'ils sont à ouverture forcée des contacts (⊖) ou montés en actionnement positif (⊕)</b>				
Protecteur op.	Protecteur ≠ op.	Protecteur dessus	Protecteur décharge	

Effacité générale des protecteurs et dispositifs de protection


② Zone entre les plateaux accessible malgré les protections en place :


Non

Oui. Expliquez :

Remarque :

## E.2 Chute du moule - Moyens contre ce risque

 Appareil de levage utilisé pour soulever le moule :

 /  Charge maximale que peut supporter l'appareil de levage :

 Poids du plus grand moule déjà installé sur cette presse :


 Fréquence de l'inspection de l'appareil de levage :

 Vérifications faites avant l'utilisation d'un oeillet :

Charge maximale

État de l'oeillet

Autre

 Vérifications faites avant l'utilisation des brides de serrage :

État des brides

Autre

Remarques / Autres moyens de réduction de ce risque :

## E.3 Heurt par le moule ou l'appareil de levage - Moyens contre ce risque

Moyens de réduction de ce risque :

?  **E.4 Mouvement d'un robot - Moyens contre ce risque**

Robot encagé :  Oui  Non  Autre :

Enceinte du robot accessible malgré la cage :

Non

Oui. Expliquez :

? Ouvrir la cage empêche les mouvements de quels éléments mobiles du système ?

---

---

? Ouvrir la cage permet les mouvements de quels éléments mobiles du système ?

---


---


? Poignée de validation ou un pendent :  Oui  Non

Schéma de la cage avec ses portes et les interrupteurs de positions (⊖, ⊕) des portes :



### E.5 Entraînement et coincement par un convoyeur - Moyens contre ce risque

 Protecteur d'angles rentrants :  Oui  Non

 Protecteur contre les zones de coincement :  Oui  Non

Remarques / Autres moyens de réduction de ce risque :


### E.6 Énergie électrique - Moyens contre ce risque

 Tension électrique en jeu : \_\_\_\_\_ . Où? : \_\_\_\_\_

Remarques / Autres moyens de réduction de ce risque :

### E.7 Risque thermique - Moyens contre ce risque

Moyens de protection : voir protecteurs appartenant à la presse cités en E.1

 Port d'EPI au cours des observations du système étudié :

Gants  Lunettes de sécurité  Cagoule  Autres : \_\_\_\_\_

Mesurez la température du moule lors de l'opération observée :  $T_{\text{moule}} =$  \_\_\_\_\_ C

Opération effectuée lors de la prise de température du moule : \_\_\_\_\_

### Opération observée :

Noter : méthode d'intervention de l'opération observée, situations dangereuses et facteurs de risque.

---



---



---

## **ANNEXE B - Étapes observées pour les tâches exécutées lors des visites en usines**

### **Démontage de moule** (tâche réalisée par 1 monteur-ajusteur de moule à l'usine A et 2 monteurs-ajusteurs de moule à l'usine E) :

Au début du démontage, le moule est ouvert, ainsi que le protecteur de l'opérateur. Les étapes observées pour le démontage de moule sont les suivantes :

- vidanger le moule ;
- rabattre la partie mobile du moule sur sa partie fixe en actionnant la fermeture du plateau mobile ;
- insérer le (les) crochet (s) du pont roulant dans l'œillet (les œillets) du moule ;
- débrancher les flexibles du moule ;
- enlever les brides de serrage ou les boulons qui fixaient le moule au plateau mobile ;
- enlever les brides de serrage ou les boulons qui fixaient le moule au plateau fixe ;
- soulever le moule avec le pont roulant ;
- ranger, sur le moule, les flexibles qui lui sont propres ;
- poser le moule doucement sur le sol.

→ durée de l'intervention :  $T_{\text{visite A}} = 45 \text{ min}$  ;  $T_{\text{visite E}} = 20 \text{ min}$ .

### **Montage de moule** (tâche réalisée par 1 à 4 travailleurs : régleurs et monteurs-ajusteurs de moule des usines A, B, C et E)

Au départ, les parties fixe et mobile du moule sont généralement solidarifiées et le protecteur de l'opérateur est ouvert. Il est à noter qu'à l'usine C, la masse du moule dépassait la capacité maximale du pont roulant. Par souci de sécurité, le montage de moule s'est donc fait en deux temps : installation de la partie fixe du moule, puis de sa partie mobile, dont les poids respectifs étaient inférieurs à la capacité maximale du pont roulant. À notre arrivée dans cette usine, la partie fixe du moule était déjà boulonnée au plateau fixe. Nous avons donc assisté à la fixation de la partie mobile du moule et au reste du montage de moule. Globalement, lors des visites, les montages de moule s'exécutaient ainsi :

- si présence d'un robot, positionner celui-ci à sa position initiale (*home*) et l'éteindre ou le débrancher sans le cadenasser. Cadenasser le robot n'est pas exigé, car une confiance au système de commande relatif à la sécurité s'est installée ;
- insérer le (les) crochet (s) du pont roulant dans l'œillet (les œillets) du moule ;
- déplacer le moule vers la zone du moule en actionnant le pont roulant depuis son pendant ;
- positionner le moule de manière à ce que son orifice d'injection soit vis-à-vis l'orifice d'insertion de la buse ;
- installer les brides de serrage ou les boulons pour accrocher la partie fixe du moule au plateau fixe ;

- installer les éjecteurs sur la partie mobile du moule de sorte que le mécanisme d'éjection de la presse coïncide avec eux ;
- actionner la fermeture du plateau mobile de manière à ce qu'il s'appuie contre la partie mobile du moule ;
- installer les brides de serrage ou les boulons pour accrocher la partie mobile du moule au plateau mobile ;
- enlever le crochet du pont roulant de l'œillet du moule ;
- désolidariser la partie fixe de la partie mobile du moule (une bride les solidarise) ;
- brancher, s'il y a lieu, les capteurs électriques au moule (ces capteurs informent l'API de la position des éléments mobiles de la zone du moule : plateau mobile, éjecteurs, noyaux) ;
- installer les flexibles d'eau froide et d'eau chaude du moule ;
- installer, s'il y a lieu, les flexibles hydrauliques du moule (ces flexibles peuvent être requis pour brancher les vérins hydrauliques actionnant les noyaux du moule) ;
- s'il y a un robot interagissant avec la presse, le réarmer ;
- régler les paramètres de la presse conformément au type de pièce à produire ;

→ durée de l'intervention :  $T_{\text{visite A}} = 45 \text{ min}$  ;  $T_{\text{visite B}} = 20 \text{ min}$  ;  $T_{\text{visite C}} = 8 \text{ h}$  ;  $T_{\text{visite E}} = 40 \text{ min}$ .

**Essais de production** (tâche réalisée par 1 client (fabricant de moule) et 2 travailleurs : monteurs-ajusteurs de moules et réglers de l'usine C)

Lors des essais de production, la presse fonctionne en mode semi-automatique : après chaque cycle, le travailleur récupère la pièce produite. Les essais de production sont réalisés de la façon suivante:

- régler les paramètres de la presse depuis sa console ;
- vérifier les vitesses de fermeture et d'ouverture du plateau mobile, la pression de fermeture et le verrouillage du moule après fermeture de celui-ci (ces essais s'alternent souvent avec des ajustements de paramètres)
- vérifier l'injection adéquate du plastique (le plastique est injecté dans la partie fixe du moule ouvert ; il ressort donc par les orifices de l'empreinte.
- entrer dans la zone du moule pour enlever, à l'aide d'air comprimé, le plastique éjecté (rôle de l'air comprimé : sécher le plastique chaud pour qu'il soit complètement dégagé de l'empreinte et de ses orifices) ;
- le client vérifie qu'après l'enlèvement du plastique de l'empreinte, celle-ci ne soit pas abîmée. Il inspecte les orifices de l'empreinte avec une lampe de poche ;
- procéder aux essais de production des 2 premières pièces ;



- connecter les capteurs de position des éjecteurs (ceci est pour assurer la sécurité du moule, ainsi il ne se refermera pas si les éjecteurs sont sortis) ;
- poursuivre avec les essais de production de pièces (la plupart des essais de production de pièces s'alternent avec une inspection de l'empreinte) ;
- si, entre 2 essais, la presse n'a rien injecté durant 5 min, purger le moule pour le vider du plastique quelque peu solidifié. Puis rentrer dans la zone du moule pour sécher le plastique éjecté du moule avec de l'air comprimé et l'enlever ;
- après chaque pièce produite, descendre dans la zone du moule pour la récupérer et la vérifier avec le client ;
- lors des essais, le client a remarqué que les pièces étaient difficiles à enlever à cause de leurs carottes qui restaient collées contre la partie mobile du moule. Dans l'éventualité où un robot vient récupérer les pièces, il aura du mal à dégager les pièces et la presse risque d'avoir des arrêts fréquents. Alors, le client et son assistant ont enlevé avec une fraiseuse (portative et électrique), une partie du matériau de l'éjecteur de carotte pour qu'il retienne moins la pièce produite et facilitent son retrait ;
- après le fraisage, le client a nettoyé l'empreinte de la partie mobile du moule et ses orifices avec de l'air comprimé ;
- comme le fraisage a dépassé 5 min, une purge de la partie fixe du moule fut nécessaire pour le libérer du plastique quelque peu solidifié.

→ durée de l'intervention :  $T_{\text{visite C}} > 4 \text{ h}$ .

### **Installation d'inserts sur le moule** (tâche réalisée par 1 travailleur : technicien en changement de moule, réglage et mise en route de l'usine D)

Cette tâche s'entreprind sur le moule installé contre les plateaux fixe et mobile. Voici les étapes liées à cette intervention :

- éteindre le moteur hydraulique avant d'ouvrir la cage ;
- ouvrir la cage (un voyant rouge s'allume) ;
- garder l'énergie électrique sur la presse ;
- placer les inserts sur les parties fixe et mobile du moule ;
- boulonner les inserts sur le moule ;
- sortir de la presse et de la cage ;
- réarmer le robot.

→ durée de l'intervention :  $T_{\text{visite D}} = 45 \text{ min}$ .

**Inspection, polissage et nettoyage de l'empreinte du moule (tâche réalisée par 2 clients et 1 travailleur : le polisseur de l'usine C)**

Cette opération de maintenance est réalisée de la façon suivante :

- le client inspecte le moule (il est debout dans la zone du moule, sur des tapis sensibles) ;
- le client nettoie certaines parties de l'empreinte du moule avec un morceau de coton (puis, le client laisse la zone du moule) ;
- à la demande du client, un polisseur nettoie (avec un morceau de coton) l'empreinte et la polit, par endroits, avec une fraiseuse (portative, électrique) ;
- le polisseur colmate des fissures de l'empreinte avec de la pâte ;
- le client inspecte le moule une dernière fois.

→ durée de l'intervention :  $T_{\text{visite C}} = 40 \text{ min.}$

**Polissage et nettoyage du moule (tâches réalisées chacune par 1 travailleur de l'usine F)**

Le polissage concerne l'empreinte du moule (correction des défauts dus à l'usure par exemple), et le nettoyage concerne le reste (pour enlever le début de formation de rouille). Ces deux tâches sont effectuées simultanément :

- les différents intervenants condamnent l'accès au panneau de commande en installant une plaque en plexiglas empêchant l'accès à toutes les commandes excepté le bouton d'arrêt d'urgence. Cette plaque est cadenassée et la clé unique du cadenas est enfermée dans une boîte de cadenassage sur laquelle chaque intervenant appose son cadenas personnel ;
- les travailleurs effectuent le nettoyage et le polissage à l'aide de chiffons et d'outils pneumatiques. L'utilisateur d'outils pneumatiques porte un masque de protection ;
- le moule étant de très grande taille, les travailleurs utilisent un escabeau et une table comme moyens d'accès. Le polisseur doit même pénétrer entièrement dans l'empreinte du moule.
- lorsque les tâches de polissage et de nettoyage sont terminées, chaque travailleur enlève son cadenas de la boîte.

→ durée de l'ensemble des opérations de maintenance :  $T_{\text{visite F}} = 4 \text{ h.}$

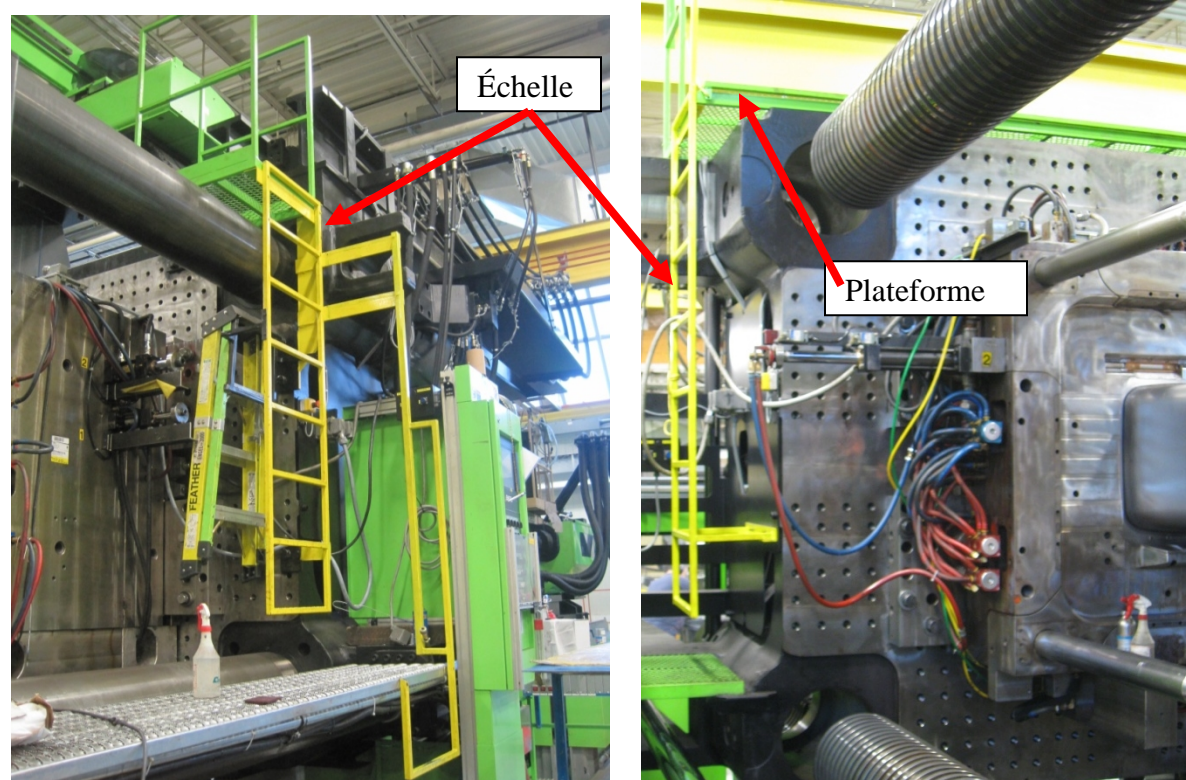
### ANNEXE C - Composantes du risque et moyens de réduction du risque observés : grille d'analyse

Dans cette grille :

- on a uniquement effectué une identification des risques, sans égard à la probabilité ;
- on entend par « à proximité » : être proche de la zone dangereuse et y avoir accès ;
- l'appellation « AU » signifie « arrêt d'urgence » ;
- les risques et moyens de réduction du risque (MRR) observés concernent uniquement la configuration « presse-équipement(s) périphérique(s) » observée lors des différentes tâches étudiées en usines ;
- les mentions « m » et « p » dans la 1<sup>ère</sup> colonne de gauche font référence au type d'intervention observée (maintenance ou production) concerné par le phénomène dangereux ;
- les figures suivantes servent à illustrer des exemples adéquats d'escabeau, de marchepied, de plateforme et d'échelle auxquels cette grille fait référence.
- dans le tableau chaque moyen de réduction du risque est accompagné d'un numéro entre parenthèses. Ces derniers correspondent à la composante du risque sur laquelle le moyen de réduction du risque agit.



**Figure 29 – Exemple d'escabeau (à gauche) et de marchepied (à droite).**



**Figure 30 – Utilisation d’une plateforme pourvue d’échelles pour éviter de grimper sur le moule.**

Visites concernées par les risques	COMPOSANTES DU RISQUE OBSERVÉES				Visites concernées par les MRR	MOYENS DE RÉDUCTION DU RISQUE (MRR) OBSERVÉS
	Phénomène dangereux (1)	Situation dangereuse (2)	Événement dangereux (3)	Dommages possibles (4)		
ABCDEF1 F2 (m et p)	Mouvement de fermeture du plateau mobile menant à la création d'une zone de coincement (Figure 22, p. 48)	Être situé à proximité du plateau mobile pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire du plateau mobile pendant le mouvement (ex. : perte d'équilibre)	Coupure, écrasement, sectionnement, amputation, décès	ABC EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2, 3) à condition qu'il soit fermé
		Une partie du corps (ex. : bras, jambe, tête) située dans la trajectoire du plateau mobile arrêté	Démarrage intempestif du plateau mobile causé : I. par une défaillance du système de commande standard II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers		AB DEF1	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2, 3) à condition qu'il soit fermé
					CD F1F2	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2, 3) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées
					A CDEF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2,3)
					C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2,3)
					BCDEF1F2	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
					A	Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
					ABCDE	Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1)
					ABC EF1F2	Système de blocage mécanique du plateau mobile (1)
					ABC EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition qu'il soit ouvert
					AB DEF1	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition qu'il soit ouvert
					CD F1F2	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3 ; I. et II.) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte
					A CDEF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2)
					C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2)
					BCDEF1F2	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2)
					A	Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2)
					ABCDEF1F2	Action manuelle volontaire nécessaire pour mettre en mouvement tout ou partie du système (3 ; II.)
					F1F2	Condamnation du panneau de commande (sauf l'AU) (3 ; II. et III.)
					C F1	Plancher sensible dans la zone du moule (3 ; II. et III.)
					ABCDE	Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1,3)
					ABC EF1F2	Système de blocage mécanique du plateau mobile (1, 3)

		Le corps situé dans la trajectoire du plateau mobile arrêté			<p>ABC EF1F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>AB DEF1 Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>CD F1F2 Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte</p> <p>A DEF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2)</p> <p>C EF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2)</p> <p>BCDEF1F2 Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2)</p> <p>A Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2)</p> <p>ABCDEF1F2 Action manuelle volontaire nécessaire pour mettre en mouvement tout ou partie du système (3 ; II.)</p> <p>F1F2 Condamnation du panneau de commande (sauf l'AU) (3 ; II. et III.)</p> <p>C F1 Plancher sensible dans la zone du moule (3 ; II. et III.)</p> <p>ABCDE Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1)</p> <p>ABC EF1F2 Système de blocage mécanique du plateau mobile (1)</p>
ABCDEF2 (m et p)	Mouvement d'ouverture du plateau mobile menant à la création d'une zone de coincement à l'arrière de ce plateau (Figure 11, p. 30)	Être situé à proximité du plateau mobile pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire du plateau mobile pendant le mouvement	Cisaillement, coupure, écrasement, sectionnement, amputation, décès	<p>AB E F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p><b>Note : pas pour les visites C, et F1 car le protecteur fixe empêche l'accès depuis le côté opérateur ou opposé à l'opérateur.</b></p> <p>AB DE Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>CD F2 Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2, 3) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées</p> <p>ABCDE Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1)</p>
		Une partie du corps (ex. : bras, jambe, tête) située dans la trajectoire du plateau mobile arrêté	<p>Démarrage intempestif du plateau mobile causé :</p> <p>I. par une défaillance du système de commande standard</p> <p>II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur)</p>		<p>AB E F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>AB DE Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>CD F2 Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3 ; I. et II.) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte</p> <p>ABCDE F2 Action manuelle volontaire nécessaire pour mettre en mouvement tout ou partie du système (3 ; II.)</p> <p>F2 Condamnation du panneau de commande (sauf l'AU) (3 ; II. et III.)</p> <p>C Plancher sensible dans la zone du moule (3 ; II. et III.)</p> <p>ABCDE Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1,3)</p>



		Le corps situé dans la trajectoire du plateau mobile arrêté	III. volontairement par un tiers		<p>AB E F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>AB DE Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>CD F2 Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3 ; I. et II.) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte</p> <p>ABCDE F2 Action manuelle volontaire nécessaire pour mettre en mouvement tout ou partie du système (3 ; II.)</p> <p>F2 Condamnation du panneau de commande (sauf l'AU) (3 ; II. et III.)</p> <p>C Plancher sensible dans la zone du moule (3 ; II. et III.)</p> <p>ABCDE Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1)</p>
ABCDEF1 F2 (m et p)	Mouvement de va-et-vient des éjecteurs et de leur mécanisme	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	Selon la forme de l'éjecteur : fracture, écrasement, amputation, contusion, ecchymose, blessure aux yeux	<p>ABC EF1F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>AB DEF1 Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>CD F1F2 Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées</p> <p>A CDEF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2, 3)</p> <p>C EF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2, 3)</p> <p>BCDEF1F2 Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)</p> <p>A Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)</p> <p>ABCDE Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1)</p>
		Être situé dans la trajectoire des éjecteurs ou de leur mécanisme arrêtés	Démarrage intempestif des éjecteurs causé : I. par une défaillance du système de commande standard II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers		<p>ABC EF1F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>AB DEF1F2 Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition que le protecteur ne soit pas fermé</p> <p>CD F1F2 Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3 ; I. et II.) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte</p> <p>A CDEF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2)</p> <p>C EF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2)</p> <p>BCDEF1F2 Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2)</p> <p>A Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2)</p> <p>ABCDEF1F2 Action manuelle volontaire nécessaire pour mettre en mouvement tout ou partie du système (3 ; II.)</p> <p>C F1 Plancher sensible dans la zone du moule (3 ; II. et III.)</p> <p>ABCDE Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1, 3)</p>

A C EF1F2 (m et p)	Mouvement des noyaux et de leur mécanisme	Être situé à proximité des noyaux ou de leur mécanisme pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire des noyaux ou de leur mécanisme pendant le mouvement	Selon la forme du noyau : fracture, écrasement, amputation, contusion, ecchymose	A C EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur ne soit pas fermé
		Être situé dans la trajectoire des noyaux ou de leur mécanisme arrêtés	Démarrage intempestif des noyaux causé : I. par une défaillance du système de commande standard II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers		A EF1	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur ne soit pas fermé
					C F1F2	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées
					A C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2, 3)
					C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2, 3)
					C EF1F2	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
					A	Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
					A C E	Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1)
					A C EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition que le protecteur ne soit pas fermé
					A EF1	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3 ; I. et II.) à condition que le protecteur ne soit pas fermé
					C F1F2	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3 ; I. et II.) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte
					A C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2)
					C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2)
					C EF1F2	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2)
					A	Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2)
					A C EF1F2	Action manuelle volontaire nécessaire pour mettre en mouvement tout ou partie du système (3 ; II.)
					F1F2	Condamnation du panneau de commande (sauf l'AU) (3 ; II. et III.)
					C F1	Plancher sensible dans la zone du moule (3 ; II. et III.)
					ABCDE	Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1, 3)



ABCDEF1 F2 (m et p)	Forme coupante ou pointue d'un élément : moule, éjecteurs, noyaux ou inserts	Être situé à proximité de l'élément	Entrer en contact avec une arête vive de l'élément	Coupure, piqûre, blessure aux yeux	ABC EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur soit fermé
		Manipuler l'élément			ABC EF1	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur soit fermé
C E (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	BCDEF1F2	Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées
					A CDEF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2, 3)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du plastique	Être situé à proximité du moule où se trouve du plastique à haute température	Entrer en contact avec le plastique à haute température	Brûlure	C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2, 3)
					BCDEF1F2	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité de l'élément	Entrer en contact avec une arête vive de l'élément	Coupure, piqûre, blessure aux yeux	A	Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
					A DE	Gants adaptés (3, 4)
C E (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	A DEF1F2	Lunettes de protection (3, 4)
					A DE	Gants adaptés (3, 4)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	A DEF1F2	Lunettes de protection (3, 4)
					A DE	Gants adaptés (3, 4)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	C E	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur soit fermé
					E	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur soit fermé
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	C E	Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées
					C E	Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2, 3)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	C E	Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2, 3)
					C E	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	E	Gants adaptés (3, 4)
					E	Abaissement de la température du moule à 80°C avec une circulation d'eau avant d'intervenir (1)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	ABC EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur soit fermé
					AB DEF1	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2, 3) à condition que le protecteur soit fermé
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	BCDEF1F2	Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées
					A CDEF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2, 3)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2, 3)
					BCDEF1F2	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température du moule	Être situé à proximité du moule à haute température	Entrer en contact avec le moule à haute température	Brûlure	A	Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
					E	Gants adaptés (3, 4)

		Être dans la trajectoire d'une projection de plastique à haute température	Projection intempestive de plastique à haute température		ABC EF1F2 AB DEF1 BC EF1 A C EF1F2 C EF1F2 E A DEF1F2 F1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées et qu'elle ne soit pas grillagée Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition qu'il ne soit pas grillagé Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il ne soit pas grillagé Gants adaptés (4) Lunettes de protection (4) Visière (4)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Dégagement de gaz à haute température ou enflammé	Être dans la trajectoire de la projection de gaz à haute température ou enflammé	Projection intempestive de gaz à haute température ou enflammé	Brûlure	E F1F2	Gants adaptés (4) Visière (4)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Émanation de gaz pouvant être nocif	Être à proximité des émanations	Inhalation de gaz pouvant être nocif	Irritation des voies respiratoires	C	Système de ventilation « captation à la source » (3)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Mouvement de fouettement d'un flexible d'eau du système de refroidissement	Être dans la trajectoire du flexible lors du débranchement ou la rupture du circuit de refroidissement du moule	Déconnexion ou rupture du flexible provoquant son mouvement de fouettement	Contusion, fracture, blessure aux yeux	ABC EF1F2 AB DEF1 BCDEF1F2 A CDEF1F2 C EF1F2 A DEF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle au fouettement du flexible à l'intérieur de la zone du moule Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle au fouettement du flexible à l'intérieur de la zone du moule Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) Lunettes de protection (4)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Haute température de l'eau dans le moule	Être dans la trajectoire de la projection d'eau chaude du moule	Déconnexion ou rupture d'un raccord ou d'un flexible projetant l'eau chaude	Brûlure par l'eau chaude	ABC EF1F2 AB DEF1 BC EF1 A C EF1F2 C EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle au jet d'eau chaude à l'intérieur de la zone du moule Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle au jet d'eau chaude à l'intérieur de la zone du moule Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées et qu'elle ne soit pas grillagée Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition qu'il ne soit pas grillagé Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il ne soit pas grillagé


<p>ABCDEF1 F2 (m et p)</p>	<p>Mouvement de fouettement d'un flexible hydraulique</p>	<p>Être dans la trajectoire du flexible lors du débranchement ou la rupture du circuit hydraulique du moule</p>	<p>Déconnexion ou rupture d'un raccord ou d'un flexible provoquant le mouvement de fouettement</p>	<p>Contusion, fracture, blessure aux yeux</p>	<p>ABC EF1F2 AB DEF1 BCDEF1F2 A CDEF1F2 C EF1F2 A DEF1F2</p>	<p>Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle au fouettement du flexible à l'intérieur de la zone du moule Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle au fouettement du flexible à l'intérieur de la zone du moule Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) Lunettes de protection (4)</p>
<p>ABCDEF1 F2 (m et p)</p>	<p>Projection d'huile sous pression</p>	<p>Être dans la trajectoire de la projection d'huile</p>	<p>Déconnexion ou rupture d'un raccord ou d'un flexible provoquant une fuite</p>	<p>Nécrose, perforation de la peau, grave, blessure aux yeux</p>	<p>ABC EF1F2 AB DEF1 BC EF1 A CDEF1F2 C EF1F2 A DEF1F2</p>	<p>Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle à la projection d'huile à l'intérieur de la zone du moule Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle à la projection d'huile à l'intérieur de la zone du moule Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées et qu'elle ne soit pas grillagée Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition qu'il ne soit pas grillagé Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il ne soit pas grillagé Lunettes de protection (4)</p>
<p>ABCDEF1 F2 (m et p)</p>	<p>Haute température de l'huile</p>	<p>Être dans la trajectoire de la projection d'huile</p>	<p>Déconnexion ou rupture d'un raccord ou d'un flexible projetant l'huile chaude</p>	<p>Brûlure par l'huile chaude</p>	<p>ABC EF1F2 AB DEF1 BC EF1 A CDEF1F2 C EF1F2</p>	<p>Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle à la projection d'huile à l'intérieur de la zone du moule Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé et fasse obstacle à la projection d'huile à l'intérieur de la zone du moule Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées et qu'elle ne soit pas grillagée Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition qu'il ne soit pas grillagé Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il ne soit pas grillagé</p>
<p>ABCDEF1 F2 (m et p)</p>	<p>Gravité terrestre (chute d'un objet)</p>	<p>Être dans la trajectoire de l'objet (ex. : moule, outils, brides de serrage, accessoires)</p>	<p>Accessoire de levage inadapté</p>	<p>Selon la masse, la forme, la vitesse : choc, fracture, ecchymose, écrasement, décès</p>	<p>A CDEF1F2 ABCDEF1F2 A CDEF1F2 ABCDEF1F2</p>	<p>Note : protecteur de l'opérateur et celui du côté opposé à l'opérateur et enceinte du robot non mentionnés ici, car les opérations concernées nécessitent l'accès à la zone du moule, donc les protecteurs sont ouverts. Formation à l'utilisation des appareils et accessoires de levage (3) Chaussures de sécurité (4) Vérification des accessoires de levage (3) Inspection et maintenance régulière des appareils de levage (3) Chaussures de sécurité (4)</p>
			<p>Bris dans l'équipement de levage</p>			

			Objet échappé par l'opérateur (ex. : brides de serrage, œillets, outils, accessoires, faire tomber accidentellement un outil en hauteur)		ABCDEF1F2	Chaussures de sécurité (4)
ABCDEF1 F2 (p)	Mouvement du moule pendant la manutention	Être dans la trajectoire du mouvement	Mouvement dû à une utilisation inadéquate de l'équipement de levage (ex. : balan, inertie ou rotation du moule)	Selon la masse, la forme, la vitesse : choc, écrasement, décès	A CDEF1F2	Formation à l'utilisation des appareils et accessoires de levage (3)
			Démarrage intempestif de l'appareil de levage causé : I. par une défaillance du système de commande standard II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers			Aucun MRR observé.
		Être situé à proximité de la trajectoire du moule en mouvement	Entrer dans la trajectoire du moule (ex. : bousculade, inattention)	Selon la masse, la forme, la vitesse : choc, écrasement, décès	A CDEF1F2	Formation à l'utilisation des appareils et accessoires de levage (3)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Gravité terrestre (chute d'une personne)	Travail en hauteur (ex. : travail sur un escabeau, un marchepied ou une passerelle) (Figure 21, p. 47)	Perte d'équilibre de la personne	Selon la surface de contact, la hauteur : fracture, ecchymose, décès	ABCDEF1F2 C F1 F1	Surfaces antidérapantes (3)
			Instabilité de l'équipement			Garde-corps/rampe pour les escaliers et la passerelle (3, 4) Ajout de plateformes sur les plateaux fixes et mobiles et d'échelles fixes pour y accéder (3) (Figure 29, p. 99)

		Être en équilibre sur une partie fixe non conçue à cet effet de la presse (ex. : barre de guidage glissante) ou d'un équipement (Figure 30, p. 100)	Perte d'équilibre de la personne		ABC E F1	Petite plateforme antidérapante fixée à la machine (2, 3) Ajout de plateformes sur les plateaux fixes et mobiles et d'échelles fixes pour y accéder (2) (Figure 29, p. 99)
		Être sur une partie pouvant être mise en mouvement de la presse (ex. : moule dans la presse) ou d'un équipement (ex. : convoyeur) (Figure 9, p. 28)	Démarrage intempestif provoquant une perte d'équilibre		ABC EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3) à condition que le protecteur soit ouvert
				Perte d'équilibre de la personne	AB DEF1	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3) à condition que le protecteur soit ouvert
		Contexte favorisant les chutes de plain-pied (ex. : sol glissant ou encombré, irrégularité du sol) (Figure 20, p. 46)	Perte d'équilibre de la personne	Selon la surface de contact, la hauteur : fracture, ecchymose, décès	CD F1F2	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte
					ABCDEF1F2	Action manuelle volontaire nécessaire pour mettre en mouvement tout ou partie du système (3)
					F1F2	Condamnation du panneau de commande (sauf l'AU) (3)
					ABCDEF1F2	Surfaces antidérapantes (2, 3)
					ABCDEF1F2	Chaussures de sécurité (3)
					ABCDEF1F2	Surfaces antidérapantes (2, 3)
					ABCDEF1F2	Chaussures de sécurité (3)
					CD	Garder le sol propre (personne assignée pour le faire, ou responsabilité de chacun) (2)
ABCDEF1 F2 (p)	Mouvement d'une pièce projetée	Être dans la trajectoire de la projection	Fermeture du moule provoquant la projection d'un objet (ex. : outil laissé par inadvertance, débris, fragment de moule)	Contusion, perforation, fracture, décès, blessure aux yeux	ABC EF1F2	Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé, selon l'orientation de la projection de la pièce
					AB DEF1	Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition que le protecteur soit fermé, selon l'orientation de la projection de la pièce
					BCDEF1F2	Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées et selon la taille des ouvertures du grillage
					A CDEF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) selon la taille des ouvertures du grillage
					C EF1F2	Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) selon la taille des ouvertures du grillage
					BC	Mouvement de fermeture du moule conditionnel à la position du robot (3)
					BC	Mouvement du robot conditionnel au mouvement du plateau (3)
					A DEF1F2	Lunettes de protection (4, pour de petites pièces)

ABCDEF1 F2 (m et p)	Surface dure*	Être situé à proximité de surface dure et travailler en se penchant	Frapper la surface dure en se relevant la tête	Contusion	BCDEF1F2 A	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2) Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2) <b>*Surfaces dures situées dans la zone du moule</b>
A CDEF1 (m et p)	Angles rentrants du convoyeur	Partie du corps, vêtement ou outil porté, à proximité d'un angle rentrant du convoyeur en mouvement	Accès à l'angle rentrant provoquant l'entraînement	Coincement, écrasement, amputation, brûlure par friction	C F1 A D A CDE F1 C A F1	Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) pour les angles rentrants situés à l'intérieur de l'enceinte (Figure 24, p. 57) Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2, 3) pour les angles rentrants situés sous la zone du moule Convoyeur à bande « sans rouleau » (1) Ajout de protecteurs d'angle rentrant (Figure 25, p. 58) (3) Dispositif d'arrêt d'urgence du système « presse-équipements périphériques » en mode automatique (1) Dispositif d'arrêt d'urgence du convoyeur (1)
		Partie du corps, vêtement ou outil porté, dans un angle rentrant du convoyeur arrêté	Démarrage intempestif du convoyeur causé : I. par une défaillance du système de commande standard II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers		C A D A CDE C F1 C A F1	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3 ; I. et II.) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) pour les angles rentrants situés sous la zone du moule Convoyeur à bande « sans rouleau » (1) Action manuelle volontaire nécessaire pour permettre la remise en mouvement de tout ou partie du système (3 ; II.) Ajout de protecteurs d'angle rentrant (Figure 25, p. 58) (2) Dispositif d'arrêt d'urgence du système « presse-équipements périphériques » en mode automatique (1, 3) Dispositif d'arrêt d'urgence du convoyeur (1, 3)
A CDEF1 (m et p)	Mouvement de la courroie du convoyeur (Figure 9, p. 28)	Être sur la courroie du convoyeur arrêté	Démarrage intempestif du convoyeur causé : I. par une défaillance du système de commande standard II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers	Fracture, ecchymose, lacération	C A D C C A F1	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) pour la portion de la courroie située sous la zone du moule Action manuelle volontaire nécessaire pour permettre la remise en mouvement de tout ou partie du système (3 ; II.) Dispositif d'arrêt d'urgence du système « presse-équipements périphériques » en mode automatique (1, 3) Dispositif d'arrêt d'urgence du convoyeur (1, 3)

		Partie du corps, vêtement ou outil porté, à proximité d'une courroie en mouvement présentant des irrégularités (ex. : épissures mécaniques, déchirures, tasseaux, pièces transportées)	Accrochage à l'irrégularité de la courroie provoquant l'entraînement	Fracture, ecchymose, laceration, piqûre	C EF1 A D C A F1	Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2, 3) pour la portion de la courroie située sous la zone du moule Dispositif d'arrêt d'urgence du système « presse-équipements périphériques » en mode automatique (1) Dispositif d'arrêt d'urgence du convoyeur (1)
		Partie du corps, vêtement ou outil porté, à proximité d'une courroie arrêtée présentant des irrégularités	Démarrage intempestif du convoyeur causé : I. par une défaillance du système de commande standard II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers		C A D C C A F1	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) pour la portion de la courroie située sous la zone du moule Action manuelle volontaire nécessaire pour permettre la remise en mouvement de tout ou partie du système (3 ; II.) Dispositif d'arrêt d'urgence du système « presse-équipements périphériques » en mode automatique (1, 3) Dispositif d'arrêt d'urgence du convoyeur (1, 3)
BCDEF1F2 2 (m et p)	Mouvements du bras du robot (incluant le préhenseur et la charge portée)	Être situé à proximité de la trajectoire du robot pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire du robot pendant le mouvement	Selon la configuration : ecchymose, fracture, coincement, décès, perforation, blessure aux yeux	BCDEF1F2 BC EF1F2 D F1 BCDE DEF1F2	Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées (3) Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3) à condition qu'il soit fermé Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3) à condition qu'il soit fermé Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1) Lunettes de protection (4)

		Être situé dans la trajectoire du robot arrêté	Démarrage intempestif du robot causé : I. par une défaillance du système de commande standard II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers		CD F1F2 BC EF1F2 D F1 BCDEF1F2 C F1 BCDE BCDEF1F2 DEF1F2	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3 ; II.) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3 ; II.) à condition qu'il soit ouvert Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3 ; II.) à condition qu'il soit ouvert Action manuelle volontaire nécessaire pour permettre la remise en mouvement de tout ou partie du système (3 ; II.) Plancher sensible dans la zone du moule (3 ; II. et III.) empêchant le mouvement de parties mobiles du système, y compris le protecteur de l'opérateur motorisé Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1, 3) Dispositif de validation pour pendant de programmation de robot (3 ; II.) Lunettes de protection (4)
		Être situé dans la zone d'évolution maximale du robot	Défaillance technique provoquant une déviation de la trajectoire en dehors de la zone restreinte		CD F1F2 BC EF1F2 D F1 DEF1F2	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte (2) Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3) à condition qu'il soit ouvert Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3) à condition qu'il soit ouvert Lunettes de protection (4)
BCDEFIF 2 (m et p)	Mouvements du préhenseur (ex. : pince) seul 	Être situé dans la zone d'évolution du préhenseur arrêté	Démarrage intempestif du préhenseur causé : I. par une défaillance du système de commande standard du préhenseur II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers	Fracture, ecchymose, sectionnement, blessure aux yeux	CD F1F2 BC EF1F2 D F1 BCDE BCDEF1F2 DEF1F2	Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3 ; II.) à condition qu'il soit ouvert Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3 ; II.) à condition qu'il soit ouvert Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1, 3) Dispositif de validation pour pendant de programmation de robot (3 ; II.) Lunettes de protection (4)



		Être situé à proximité de la zone d'évolution du préhenseur pendant le mouvement	Entrer dans la zone d'évolution du préhenseur		<p>CD F1F2 Enceinte de robot avec porte d'accès verrouillée (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (3) à condition qu'au moins une porte d'accès soit ouverte</p> <p>BC EF1F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (3) à condition qu'il soit ouvert</p> <p>D F1 Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (3) à condition qu'il soit ouvert</p> <p>BCDE Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1, 3)</p> <p>DEF1F2 Lunettes de protection (4)</p>
BCDEF1F2 2 (p)	Gravité terrestre (chute de la charge du robot)	Être dans la trajectoire de la charge	Préhenseur inadapté	Selon la hauteur de chute, la masse et la forme de la charge : choc, fracture, ecchymose, écrasement	<p>BCDEF1F2 Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées (2)</p> <p>BC EF1F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé et que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>B DEF1 Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé et que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>CDEF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>C EF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>BCDEF1F2 Chaussures de sécurité (4)</p>
			Bris du préhenseur ou de la charge		<p>BCDEF1F2 Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées</p> <p>BC EF1F2 Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé et que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>B DEF1 Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé et que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>CDEF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>C EF1F2 Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>BCDEF1F2 Chaussures de sécurité (4)</p>

			<p>Démarrage intempestif du préhenseur causé :</p> <p>I. par une défaillance du système de commande standard du préhenseur ou perte d'énergie (ex : pneumatique)</p> <p>II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur)</p> <p>III. volontairement par un tiers</p>		<p>BCDEF1F2</p> <p>BC EF1F2</p> <p>B DEF1</p> <p>CDEF1F2</p> <p>C EF1F2</p> <p>BCDEF1F2</p> <p>BCDEF1F2</p>	<p>Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées</p> <p>Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé et que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé et que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Dispositif de validation pour pendant de programmation de robot (3 ; II.)</p> <p>Chaussures de sécurité (4)</p>
BCDEF1F2 2 (p)	Mouvement d'une charge projetée par le robot	Être dans la trajectoire de la projection	<p>Préhenseur inadapté provoquant le relâchement de la charge pendant le mouvement du robot</p>	Selon la vitesse du mouvement du robot, la masse et la forme de la charge : choc, fracture, ecchymose, blessure aux yeux	<p>BCDEF1F2</p> <p>BC EF1F2</p> <p>D F1</p> <p>CDEF1F2</p> <p>C EF1F2</p> <p>DEF1F2</p>	<p>Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées</p> <p>Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé</p> <p>Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé</p> <p>Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Lunettes de protection (4, pour de petites pièces)</p>
			<p>Bris du préhenseur ou de la charge provoquant le relâchement de la charge pendant le mouvement du robot</p>		<p>BCDEF1F2</p> <p>BC EF1F2</p> <p>D F1</p> <p>CDEF1F2</p> <p>C EF1F2</p> <p>DEF1F2</p>	<p>Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées</p> <p>Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé</p> <p>Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé</p> <p>Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Lunettes de protection (4, pour de petites pièces)</p>

			<p>Relâchement intempestif de la charge (ex. : causé par I. par une défaillance du système de commande standard du préhenseur ou perte d'énergie (ex : pneumatique)</p> <p>II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur)</p> <p>III. volontairement par un tiers pendant le mouvement du robot</p>		<p>BCDEF1F2</p> <p>BC EF1F2</p> <p>D F1</p> <p>CDEF1F2</p> <p>C EF1F2</p> <p>BCDEF1F2</p> <p>DEF1F2</p>	<p>Enceinte de robot (côté de l'opérateur ou côté opposé à l'opérateur) (2) à condition d'être à l'extérieur, portes fermées</p> <p>Protecteur (mobile verrouillé) de l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé</p> <p>Protecteur (mobile verrouillé) côté opposé à l'opérateur (2) à condition qu'il soit fermé</p> <p>Protecteur fixe de décharge côté opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Protecteur fixe de décharge côté opposé à l'opérateur (2) à condition que la charge tombe dans la zone du moule</p> <p>Dispositif de validation pour pendant de programmation de robot (3 ; II.)</p> <p>Lunettes de protection (4, pour de petites pièces)</p>
ABCDEF1 F2 (m et p)	Énergie électrique	Être en contact avec une partie d'un équipement prévue pour être sous tension, mais qui ne l'est pas (ex. : toucher un fil dénudé pendant une réparation)	Mise sous tension accidentelle (ex. : par un tiers ou une défaillance)	Électrisation, électrocution	A	Basse tension (1)
		Être à proximité d'une partie sous tension d'un équipement, et prévue pour l'être (ex. : mesure de la tension d'une résistance du moule, débrancher le circuit électrique du moule sans savoir qu'il est sous tension)	Entrer en contact avec la partie sous tension d'un équipement		A	Basse tension (1)

		Être en contact avec une partie d'un équipement non prévue pour être sous tension (ex. : bâti de la machine), et qui ne l'est pas	Mise sous tension accidentelle (ex. : à cause d'une défaillance)		A	Basse tension (1)
		Être à proximité d'une partie d'un équipement non prévue pour être sous tension (ex. : bâti de la machine), mais qui l'est	Entrer en contact avec la partie accidentellement sous tension		A	Basse tension (1)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Bruit ambiant	Exposition au bruit	Exposition hors norme	Acouphène, surdité, détérioration de l'acuité auditive ou de l'équilibre, fatigue, stress, baisse de la vigilance	A D	Protecteur auditif (3, 4)
BC EF1 (m et p)	Mouvement de fermeture du protecteur motorisé côté opérateur	Partie du corps dans la trajectoire du protecteur motorisé arrêté	Démarrage intempestif du protecteur causé : I. par une défaillance du système de commande standard du préhenseur II. accidentellement (ex. : par un tiers ou l'opérateur) III. volontairement par un tiers	Coincement, ecchymose	BC EF1  B EF1 C F1 BC EF1	Action manuelle volontaire nécessaire pour permettre la remise en mouvement de tout ou d'une partie du système (3 ; II.) Vitesse réduite de fermeture du protecteur motorisé (4) Plancher sensible dans la zone du moule (3 ; II. et III.) Dispositif d'arrêt d'urgence utilisé en complément d'un protecteur mobile verrouillé (1, 3)
		Être situé à proximité du protecteur motorisé pendant le mouvement	Entrer dans la trajectoire du protecteur motorisé pendant le mouvement (ex. : perte d'équilibre)			BC EF1 BC EF1
C F1 (m)	Projection de copeaux métalliques	Être situé à proximité de la projection de copeaux métalliques	Entrer dans la trajectoire de la projection de copeaux métalliques	Blessures aux yeux	C F1	Lunettes de protection adaptées (4)

C F1 (m)	Liquide nettoyant	Utiliser le liquide nettoyant	Entrer en contact avec le liquide nettoyant	Irritation de la peau, nécrose	C F1	Gants adaptés (4)
ABCDEF1 F2 (m et p)	Non-respect des principes ergonomiques	Être penché dans la zone du moule	Posture contraignante	Troubles musculo-squelettiques (TMS)	BCDEF1F2 A	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3) Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3)
			Mouvements répétitifs			
		Ouvrir manuellement un protecteur de la zone du moule	Effort excessif		BCDEF1F2 A BC EF1	Utilisation du robot récupérateur de pièce pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2, 3) Récupération des pièces par gravité sur un convoyeur pour réduire l'exposition aux risques liés à la production (2) Mise en place d'un protecteur motorisé (2, 3)
			Mouvements répétitifs			
		Manipuler des objets lourds (ex. : outils portatifs, mécanismes de noyaux)	Effort excessif		ABCDEF1F2	Organiser les objets lourds à proximité de la zone du moule (ex. : dans des chariots à tiroirs, sur une table rétractable installée sur le garde de la passerelle) (3)
			Mouvements répétitifs			
			Posture contraignante			
		Accéder à un espace de travail en contrebas	Impact à la réception du saut		AB DEF1F2	Utilisation d'un escabeau de hauteur suffisante et au nombre de marches suffisant pour éviter de sauter (3)
		Accéder à un espace de travail surélevé	Grandes enjambées et escalades fréquentes		AB DEF1F2 C F1	Utilisation d'un escabeau ou marchepied adaptés pour réduire les efforts d'accès (3) Utilisation d'une passerelle (3)

**ANNEXE D - Validation *a posteriori* : contextes de l'étude**

Les formules 1 à 4 présentées dans la section 6.3.3 du rapport utilisent comme paramètres : le  $MTTF_d$  de chacun des composants de la fonction de sécurité et leur DC propre. Le  $MTTF_d$  par composant peut-être disponible dans le manuel du fabricant ou dans la norme *ISO 13849-1*. Si le composant en question ne possède pas de  $MTTF_d$  prédéterminé, celui-ci doit se calculer à partir du nombre moyen annuel d'utilisations de la fonction de sécurité (voir le paramètre  $n_{op}$  ci-dessous) et du paramètre  $B_{10d}$  qui représente le nombre de cycles jusqu'à ce que 10% des composants échouent dangereusement. Le paramètre  $n_{op}$  dépend du contexte d'utilisation de la fonction de sécurité. Pour cette étude, le  $n_{op}$  a été calculé pour deux contextes : « Usine » et « Laboratoire » (cf. tableau 13 et tableau 14). Quant à la DC de chaque composant, elle est disponible dans la norme *ISO 13849-1*. Les caractéristiques techniques des composants permettent de sélectionner leur DC et leur  $MTTF_d$  ou  $B_{10d}$  respectifs lorsqu'on utilise la norme *ISO 13849-1*.

Le paramètre  $n_{op}$  se calcule selon la formule suivante de la norme *NF EN ISO 13849-1:2008* :

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600s/h}{t_{cycle}} \quad \text{Éq. (D. 1)}$$

Les paramètres  $d_{op}$ ,  $h_{op}$  et  $t_{cycle}$  sont décrits au tableau 13 et au tableau 14. Ces paramètres dépendent du contexte d'utilisation.

Le  $n_{op}$  permet de trouver le  $MTTF_d$  par composant avec la formule suivante de la norme *NF EN ISO 13849-1:2008* :

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 \times n_{op}} \quad \text{Éq. (D. 2)}$$

**Tableau 13 – Définition du contexte « Usine ».**

Paramètres		S151A	K01, K02
Nombre moyen d'heures d'utilisation par jour	$h_{op}$ (h)	20	20
Nombre moyen de jours d'utilisation par années	$d_{op}$ (jour)	350	350
Temps moyen entre le démarrage de 2 cycles successifs du composant en secondes par cycle	$t_{cycle}$ (s/cycle)	6	6
Nombre moyen annuel d'utilisations	$n_{op}$ (cycle/an)	4 200 000	4 200 000

**Tableau 14 – Définition du contexte « Laboratoire ».**

<b>Paramètres</b>		<b>S151A</b>	<b>K01, K02</b>
Nombre moyen d'heures d'utilisation par jour	<b><math>h_{op}</math> (h)</b>	2	2
Nombre moyen de jours d'utilisation par années	<b><math>d_{op}</math> (jour)</b>	5	5
Temps moyen entre le démarrage de 2 cycles successifs du composant en secondes par cycle	<b><math>t_{cycle}</math> (s/cycle)</b>	6	6
Nombre moyen annuel d'utilisations	<b><math>n_{op}</math> (cycle/an)</b>	6000	6000

**ANNEXE E - Caractéristiques des composants – contexte « Usine ».**

L'annexe E présente les caractéristiques des composants de la fonction de sécurité qui ont permis de calculer leur  $MTTF_d$  et de sélectionner leur DC pour le contexte « Usine ».

Pour les tableaux des annexes E et F, voici l'explication de l'intitulé de certaines colonnes :

- « Caractéristiques réelles » : caractéristiques provenant de la fiche technique du composant ou du manuel du fabricant de la presse.
- « Caractéristiques hypothétiques » : valeurs par défaut de paramètres issues du tableau C.1 de la norme *NF EN ISO 13849-1:2008*. Pour appliquer ces valeurs aux composants de l'étude, il a fallu prendre pour hypothèse que ces composants ont été conçus selon les critères des sections C.2 et C.3 de cette norme.
- « DC » : valeur par défaut de la couverture du diagnostic proposée dans le tableau E.1 de cette norme.

**Tableau 15 – Contexte « Usine » : caractéristiques des composants du canal 1 (S/O = sans objet).**

Identification	Numéro	Caractéristiques réelles	Caractéristiques hypothétiques	$MTTF_d$ par composant (années)	DC
Interrupteurs	<b>S151A</b>	Contact à ouverture forcée Diagnostiqué par relais K03 à contacts guidés	$B_{10d}$ (cycles) 2 000 000	4,76	0,99
	<b>S151B</b>	Contact à ouverture forcée Interrupteur monté en actionnement mécanique positif des contacts Diagnostiqué par relais K03 à contacts guidés	S/O, car exclusion de défauts	S/O, car exclusion de défauts	S/O, car exclusion de défauts
Relais	<b>K01</b>	Relais à contacts guidés Diagnostiqué par relais K03 à contacts guidés	$B_{10d}$ (cycles) 400 000	0,95	0,99
	<b>K02</b>	Relais à contacts guidés Diagnostiqué par relais K03 à contacts guidés	$B_{10d}$ (cycles) 400 000	0,95	0,99
Distributeur "D1"	<b>Y101</b>	Diagnostiqué par une carte électronique programmable dont on ignore le fonctionnement. Alors, on prend le pire cas : DC = 0	$MTTF_d$ (années) 150	150	0,00
Relais	<b>K03</b>	Relais à contacts guidés	S/O	S/O	S/O



**Tableau 16 – Contexte « Usine » : caractéristiques des composants du canal 2 (S/O = sans objet).**

Identification	Numéro	Caractéristiques réelles	Caractéristiques hypothétiques	MTTF <sub>d</sub> par composant (années)	DC
Interrupteur	<b>S175</b>	Contact à ouverture forcée Interrupteur monté en actionnement mécanique positif des contacts	S/O	S/O, car exclusion de défauts	S/O, car exclusion de défauts
Commande électrique du distributeur "D2"	<b>Y171</b>	S/O	MTTF <sub>d</sub> 150 (années)	150	0,00
Carte électronique programmable	<b>S/O</b>	S/O	S/O	S/O	S/O

**ANNEXE F - Caractéristiques des composants – contexte « Laboratoire »**

L'annexe F présente les caractéristiques des composants de la fonction de sécurité qui ont permis de calculer leur  $MTTF_d$  et de sélectionner leur DC pour le contexte « Laboratoire ».

**Tableau 17 – Contexte « Laboratoire » : caractéristiques des composants du canal 1 (S/O = sans objet).**

Identification	Numéro	Caractéristiques réelles	Caractéristiques hypothétiques	$MTTF_d$ par composant (années)	DC
Interrupteurs	<b>S151A</b>	Contact à ouverture forcée Diagnostiqué par relais K03 à contacts guidés	$B_{10d}$ (cycles) 2 000 000	3 333,33	0,99
	<b>S151B</b>	Contact à ouverture forcée Interrupteur monté en actionnement mécanique positif des contacts Diagnostiqué par relais K03 à contacts guidés	S/O, car exclusion de défauts	S/O, car exclusion de défauts	S/O, car exclusion de défauts
Relais	<b>K01</b>	Relais à contacts guidés Diagnostiqué par relais K03 à contacts guidés	$B_{10d}$ (cycles) 400 000	666,67	0,99
	<b>K02</b>	Relais à contacts guidés Diagnostiqué par relais K03 à contacts guidés	$B_{10d}$ (cycles) 400 000	666,67	0,99
Distributeur "D1"	<b>Y101</b>	Diagnostiqué par une carte électronique programmable dont on ignore le fonctionnement. Alors, on prend le pire cas : DC = 0	$MTTF_d$ (années) 150	150,00	0,00
Relais	<b>K03</b>	Relais à contacts guidés	S/O	S/O	S/O

**Tableau 18 – Contexte « Laboratoire » : caractéristiques des composants du canal 2 (S/O = sans objet).**

Identification	Numéro	Caractéristiques réelles	Caractéristiques hypothétiques	MTTF <sub>d</sub> par composant (années)	DC
Interrupteur	<b>S175</b>	Contact à ouverture forcée Interrupteur monté en actionnement mécanique positif des contacts	S/O	S/O, car exclusion de défauts	S/O, car exclusion de défauts
Commande électrique du distributeur "D2"	<b>Y171</b>	S/O	MTTF <sub>d</sub> 150 (années)	150,00	0,00
Carte électronique programmable	<b>S/O</b>	S/O	S/O	S/O	S/O