

Conception d'un outil d'observation et de suivi de procédures de cadenassage en milieu industriel

DAMIEN BURLET-VIENNEY¹, YUVIN CHINNIAH²,
EL-KÉBIR BOUKAS³, ARY PIZARRO-CHONG³, MOAAD EL ABOUDI³

¹ INSTITUT DE RECHERCHE ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL (IRSST)
505, Boulevard de Maisonneuve Ouest, Montréal (Québec), H3A 3C2, Canada
dambur@irsst.qc.ca

² ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
C.P. 6079, Succursale Centre-ville, Montréal (Québec), H3C 3A7, CANADA
yuvin.chinniah@polymtl.ca

³ ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE
C.P. 6079, Succursale Centre-ville, Montréal (Québec), H3C 3A7, CANADA

Résumé - Au Québec, d'après le Règlement sur la santé et la sécurité du travail, pour tout travail de maintenance, de réparation ou de déblocage sur une machine ou un procédé, les travailleurs doivent appliquer une procédure de cadenassage. Toutefois, le milieu industriel au Québec semble éprouver des difficultés dans l'appropriation, le développement et la mise en application du cadenassage. Des rapports d'accidents graves, souvent mortels, récemment produits au Québec par la Commission de la santé et de la sécurité du travail et impliquant des machines industrielles, montrent l'ampleur du problème de l'application des procédures de cadenassage. Dans ce contexte, un outil intelligent, incorporé lors de la conception d'un équipement, en mesure d'aider les travailleurs à appliquer et à auditer leurs procédures de cadenassage semble avoir son utilité. Aussi, la conception d'un prototype a été explorée et mise en application en laboratoire pour une opération d'entretien sur une presse à injection plastique automatisée. Son architecture a été basée sur trois cartes électroniques, des capteurs et des communications sans fil. Malgré les limites de la version préliminaire, la faisabilité d'un outil d'observation et de suivi des procédures de cadenassage a été démontrée lors de cette étude exploratoire.

Abstract - Workers performing maintenance, repair and unjamming operations on industrial machines and processes in Quebec are required to follow lockout/tagout procedures in accordance with the occupational health and safety regulation. However, industries in Quebec seem to have difficulties in the appropriation, development and implementation of lockout. Reports of severe accidents, often fatal, involving industrial machinery recently produced by the Quebec's occupational health and safety commission, show the extent of the problem concerning the application of lockout procedures. In this context, an intelligent tool incorporated at the design stage of a machine, which helps to apply as well as review the application of lockout procedures, should be useful. Thereby, the design of a laboratory prototype has been explored and applied for a particular maintenance task on an automated plastic injection molding machine. Its architecture has been based on three electronic cards, sensors and wireless communications. Despite the limitations of the current version, the feasibility of a tool capable of following and recording lockout procedures is demonstrated in this exploratory study.

Mots clés – Machines, cadenassage, outil électronique, audit, presse à injection

Keywords – Machines, lockout, intelligent tool, review, injection molding machine

1 PREAMBULE

Tout d'abord, il convient de mentionner que les termes « cadenassage » au Québec, « consignation » en France, et « lockout » pour les pays anglophones sont des termes à peu près équivalents.

2 INTRODUCTION

Une machine est d'abord vue par les fabricants et les utilisateurs comme un moyen de production. Toutefois, comme le mentionne la norme internationale ISO 12100-1:2010 [International Standard Organization, 2010], au-delà de

l'opération de la machine, des phases de vie comme la maintenance, l'inspection, la réparation, etc. sont nécessaires et impliquent une interaction homme-machine. Ces interventions semblent particulièrement à risque si l'on se fie au Bureau of Labor Statistics qui annonce pour l'année 2007 aux États-Unis un taux de 7,2 morts par 100 000 travailleurs pour le personnel de maintenance en comparaison de 2,8 pour le personnel de production ou de 3,8 pour l'ensemble des travailleurs [Bureau of Labor Statistics, 2007].

Au Québec, la méthode prescrite pour maîtriser les énergies dangereuses lors des opérations de maintenance, de réparation

ou de déblocage est le cadenassage d'après l'article 185 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) [RSST, 2001]: « *avant d'entreprendre tout travail de maintenance, de réparation, ou de déblocage dans la zone dangereuse d'une machine, les mesures de sécurité suivantes doivent être prises, sous réserve des dispositions de l'article 186 : 1° la mise en position d'arrêt du dispositif de commande de la machine; 2° l'arrêt complet de la machine; 3° le cadenassage, par chaque personne exposée au danger, de toutes les sources d'énergie de la machine, de manière à éviter toute mise en marche accidentelle de la machine pendant la durée des travaux.* »

D'un point de vue normatif, CSA Z460-05 (2005) [CSA Z460-05, 2005] au Canada et ANSI Z244.1 (2003) [ANSI Z244.1, 2003] aux États-Unis représentent les règles de l'art du cadenassage.

La norme CSA Z460-05 (2005) définit le cadenassage comme étant « *l'installation d'un cadenas ou d'une étiquette sur un dispositif d'isolement des sources d'énergie conformément à une procédure établie, indiquant que le dispositif d'isolement des sources d'énergie ne doit pas être actionné avant le retrait du cadenas ou de l'étiquette conformément à une procédure établie* ».

Par ailleurs, la norme CSA Z460-05 (2005) mentionne que le programme de cadenassage doit se composer des éléments suivants : «

- *L'identification des énergies dangereuses visées par le programme;*
- *L'identification des types de dispositifs d'isolement des sources d'énergie;*
- *L'identification des types de dispositifs de purge;*
- *La sélection et l'acquisition du matériel de protection et des dispositifs de cadenassage;*
- *L'attribution des tâches et des responsabilités;*
- *La détermination des séquences d'arrêt, de coupure d'alimentation, de rétablissement de l'alimentation et de démarrage;*
- *L'élaboration de procédures écrites de cadenassage des machines, des équipements ou des procédés;*
- *La formation du personnel; et*
- *L'audit des éléments du programme et de son application.* »

Malheureusement, l'application du cadenassage semble poser des problèmes aux entreprises du Québec puisque la Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail (CSST) a révélé en 2008 que « *6 décès et 5 225 accidents ont lieu annuellement au Québec lors de travaux d'installation, d'entretien ou de réparation sur des machines mal ou non cadenassées* » [CSST, 2008].

De plus, l'étape d'audit du cadenassage semble largement négligée par les entreprises qui pratiquent le cadenassage au Québec. En effet, moins d'un tiers des 31 programmes de cadenassage d'entreprises, analysés lors d'un projet de recherche de l'Institut Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (IRSST), mentionnaient la revue de l'application du cadenassage [Chinniah et al., 2008].

Compte tenu des déficiences au niveau de l'application et du suivi du cadenassage en industrie au Québec, et devant l'absence d'outil intelligent pour accompagner les travailleurs et les auditeurs, il nous est apparu primordial de travailler au niveau de la conception des équipements pour aider les entreprises. La solution envisagée consiste à développer un outil électronique qui permet à la fois aux travailleurs de suivre

la procédure à appliquer, mais aussi d'enregistrer ce qui s'est passé.

À terme, le développement expérimental d'un tel outil peut permettre de :

- Démontrer que ce type d'appareil est intégrable dès la conception de certaines machines pour faciliter l'application et l'audit du cadenassage.
- Offrir un meilleur suivi aux travailleurs lors de leur procédure de cadenassage et leur signaler les erreurs qui pourraient porter atteinte à leur sécurité;
- Aider les personnes responsables des audits en milieu industriel sur l'application du cadenassage en facilitant l'évaluation des procédures;
- Agir comme un outil pédagogique en aidant à la formation des travailleurs sur l'application du cadenassage.

3 OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude sont donc :

- Évaluer la faisabilité du développement d'un outil intelligent, intégré au niveau de la conception d'une machine, qui pourrait aider à suivre et à observer l'application du cadenassage en milieu industriel;
- Définir les exigences de conception de cet outil en laboratoire en utilisant une machine dangereuse, une presse à injection de plastique automatisée. L'outil devra :
 - Mesurer les changements d'état des éléments concernés (ex. les énergies, les dispositifs d'isolement et les dispositifs de cadenassage) lors de l'application de la procédure de cadenassage sur la presse à injection plastique;
 - Permettre au travailleur de suivre les différentes étapes des procédures de cadenassage en lui fournissant les informations nécessaires;
 - Enregistrer les étapes effectuées par le travailleur lors de l'application du cadenassage et évaluer si la procédure a été correctement exécutée.

4 METHODOLOGIE

Pour atteindre ces objectifs, la méthodologie mise en place se résume aux étapes suivantes :

1. Revue de littérature sur le cadenassage et l'étape d'audit.
2. Familiarisation avec le fonctionnement de la presse à injection de plastique du laboratoire de sécurité des machines de l'IRSST notamment en observant la machine en opération et en effectuant des essais de fonctionnement pour identifier les zones et les énergies dangereuses.
3. Observation de l'application d'une procédure de cadenassage en milieu industriel afin d'identifier les particularités liées à l'application du cadenassage sur ce type de machine.
4. Rédaction de fiches de cadenassage pour la presse à injection de l'IRSST afin de cerner les exigences de l'application du cadenassage sur cette presse.
5. Recherche au niveau des capteurs et de leur installation sur la machine afin de mesurer les changements d'état sur la presse à injection au cours du cadenassage.
6. Définir les exigences de conception de l'outil d'observation et de suivi.
7. Assembler une version préliminaire d'un prototype de l'outil et l'intégrer sur la presse à injection pour vérifier la faisabilité de l'approche retenue.
8. Effectuer des essais de fonctionnement sur le prototype de l'outil d'observation et de suivi pour identifier les limites de cette version.

5 PRESSE A INJECTION PLASTIQUE AUTOMATISEE

Pour développer l'outil d'observation et de suivi, la presse à injection de plastique de l'IRSST a été utilisée. En s'inspirant de l'appréciation du risque menée sur cette presse lors d'une précédente étude [Chinniah et Champoux, 2008], cette section détaille (i) les normes destinées aux exigences de sécurité des presses à injection de plastique, (ii) le fonctionnement de la presse, ses zones dangereuses, (iii) ses énergies dangereuses, (iv) ses dispositifs d'isolement, et (v) les principales étapes d'une procédure de cadenassage sur cette presse.

5.1 Normes

La norme européenne EN 201 (2006) et la norme américaine ANSI/SPI B151.1 (2007) précisent les exigences que doivent rencontrer les presses à injection de plastique [EN 201, 2006] [ANSI B151.1, 2007]. Il faut souligner qu'il n'existe actuellement aucune norme canadienne dédiée à la sécurité des presses à injection de plastique.

5.2 Fonctionnement

La presse à injection de plastique de l'IRSST (Figure 1) est une machine qui permet la production automatisée de pièces en plastique avec une grande précision. Elle fond des granules de plastique par chauffage électrique et les injecte sous forte pression à travers une buse dans l'empreinte d'un moule.

La presse à injection de plastique a été choisie parce qu'elle inclut des phénomènes dangereux de natures différentes : électrique, mécanique, hydraulique, thermique et chimique.



Figure 1. Presse à injection de plastique de l'IRSST

Les différentes composantes de la presse sont (i) l'unité de plastification et d'injection, (ii) le moule, (iii) l'unité de fermeture, (iv) l'unité de refroidissement et (v) l'unité d'éjection. Plusieurs zones dangereuses sont associées à ces composantes (Figure 2).

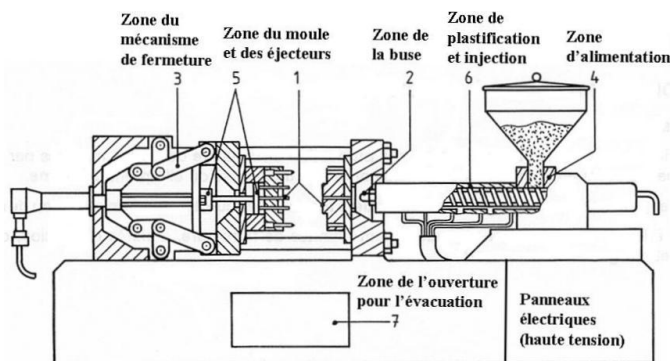


Figure 2. Zones dangereuses de la presse à injection

5.3 Énergies dangereuses

L'implantation d'une procédure de cadenassage débute par l'identification de toutes les sources d'énergie dangereuses de

la machine et dans le voisinage de celle-ci. Ainsi, les énergies recensées sur la presse sont :

- l'énergie électrique avec certains composants alimentés en basse tension triphasée (280 V) comme le moteur électrique entraînant la pompe hydraulique ou encore les cylindres chauffants, et d'autres, alimentés en très basse tension (24V) comme le circuit de commande, les ventilateurs, etc. Les risques pour les travailleurs sont l'électrisation et l'électrocution.
- l'énergie hydraulique avec certaines composantes comme la pompe, les distributeurs et les vérins qui subissent une pression maximale de 260 bars (26 MPa). Les dommages possibles pour le travailleur sont des contusions, une fracture suite à la rupture d'un flexible, ou encore une nécrose, des brûlures, des irritations, etc. à cause de l'huile sous pression et haute température.
- l'énergie thermique avec notamment le cylindre de plastification (Figure 3a) qui monte à une température de 380 °C pour faire fondre le plastique. Les risques de brûlure sont très présents.
- l'énergie mécanique avec plusieurs éléments en mouvement comme le moule (350 kN), la vis, le mécanisme de fermeture (Figure 3b), l'unité d'injection et les éjecteurs. Les dommages vont d'une simple coupure au décès si le travailleur se fait coincer dans le moule.

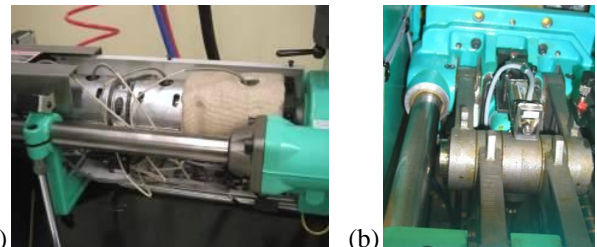


Figure 3. (a) Cylindre de plastification, (b) Mécanisme de fermeture du moule de la presse

5.4 Dispositifs d'isolement

Lors du cadenassage, les énergies dangereuses sont généralement maîtrisées par des dispositifs d'isolement des sources d'énergie. Un dispositif d'isolement des sources d'énergie est un dispositif mécanique qui empêche physiquement la transmission ou le dégagement d'énergie [CSA Z460-05, 2005]. Le fait d'empêcher la transmission des énergies ne signifie pas forcément que la machine est à un niveau d'énergie sécuritaire. Les énergies accumulées ou résiduelles devront aussi être considérées.

La presse à injection de plastique de l'IRSST possède deux dispositifs pour isoler les sources d'énergie (Figure 4):

- Le sectionneur à fusibles principal qui coupe l'alimentation en énergie électrique de la machine;
- La vanne d'eau qui coupe l'alimentation en eau.

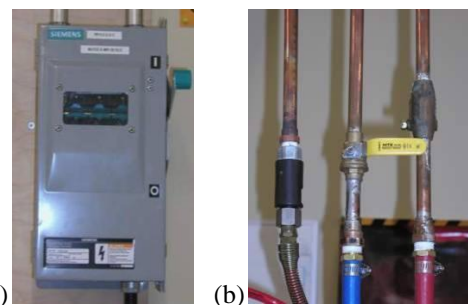


Figure 4. (a) Sectionneur à fusible principal, (b) Vanne d'eau de la presse à injection de plastique de l'IRSST

5.5 Procédures de cadenassage

La partie qui suit détaille les cinq principales étapes de la procédure de cadenassage de la presse à injection c'est-à-dire l'arrêt, l'isolement, la condamnation, la dissipation, et la vérification.

5.5.1 Arrêt

La première étape est l'arrêt de la machine. L'arrêt normal de la presse à injection s'effectue en appuyant sur le bouton de commande arrêtant le moteur électrique et par la mise en position « OFF » du sectionneur muni d'une rallonge rotative se trouvant dans l'armoire électrique locale de la presse.

5.5.2 Isolement

L'isolement est l'étape au cours de laquelle le travailleur place les dispositifs d'isolement en position « OFF » (ex. disjoncteur, vanne, etc.) afin d'empêcher la transmission de l'énergie. L'étape d'isolement s'effectue ici en abaissant la manette du sectionneur à fusibles principal pour ouvrir ses contacts, et en fermant la vanne d'eau. Le sectionneur à fusibles isole les énergies électrique, thermique, hydraulique et mécanique.

5.5.3 Condamnation

La condamnation est l'étape au cours de laquelle le travailleur bloque, verrouille ou appose un cadenas sur un dispositif d'isolement des sources d'énergie de façon à empêcher une réalimentation accidentelle ou involontaire comme, par exemple, la remise sous tension électrique de la presse. Dans ce cas-ci, deux cadenas et deux morillons suffisent pour un travailleur. Le premier cadenas permet de verrouiller le sectionneur à fusibles et le deuxième la vanne d'arrivée d'eau.

5.5.4 Dissipation

L'étape de dissipation des énergies accumulées implique l'élimination de toutes les énergies potentielles et résiduelles et requiert une mise au niveau d'énergie le plus bas. Des mesures doivent également être prises afin de prévenir la ré-accumulation de ces énergies (ex. verrouiller un dispositif de dissipation des énergies résiduelles en position ouverte en apposant un cadenas).

Les seules énergies accumulées pour la presse à injection de plastique de l'IRSST sont l'énergie thermique et l'énergie mécanique potentielle dans la genouillère. L'absence d'accumulateur et de condensateur qui emmagasinaient respectivement l'énergie hydraulique et électrique simplifie cette étape. En ce qui concerne l'énergie thermique, la

dissipation de l'énergie se fait naturellement par convection. L'énergie mécanique potentielle dans la genouillère, possibilité de mouvement des vérins sous l'action de leur propre poids, est quant à elle maîtrisée au moyen d'une cale.

5.5.5 Vérification

L'étape de vérification consiste à valider l'efficacité du cadenassage par des mesures qui permettent de constater l'absence réelle d'énergie dans le système. La vérification assure une redondance au niveau des étapes du cadenassage et peut protéger le travailleur contre des erreurs commises lors de l'application des procédures de cadenassage.

Pour la presse à injection, un test de démarrage devrait être effectué en exécutant la procédure habituelle de démarrage, c'est-à-dire en réalisant un reset/réarmement et en appuyant sur le bouton de démarrage du pupitre des commandes.

6 EXIGENCES DE CONCEPTION DE L'OUTIL D'OBSERVATION ET DE SUIVI DES PROCEDURES DE CADENASSAGE

6.1 Analyse du besoin

Une analyse du besoin a permis de définir les fonctionnalités globales de l'outil souhaité. En résumé, le système devait être doté d'une forme d'intelligence qui lui permettrait de suivre de façon autonome les étapes dans une procédure de cadenassage en milieu industriel, tout en enregistrant les données afin de permettre une observation subséquente (ex., audit, recherche). Par la suite, une définition précise a été donnée aux deux fonctions principales de l'outil c'est-à-dire le suivi et l'observation (Figure 5).

La partie « suivi » de l'outil peut se résumer par :

- Identifier le travailleur;
- Fournir les éléments de la fiche de cadenassage au travailleur pour la procédure qu'il effectue;
- Comparer la procédure effectuée par le travailleur et la procédure rédigée dans la fiche de cadenassage; et
- Signaler au travailleur les erreurs commises pendant l'application de la procédure lorsqu'elles sont dangereuses pour le travailleur.

La partie « observation » de l'outil reprend les fonctions de suivi en ajoutant :

- L'enregistrement des données recueillies et des erreurs effectuées; et
- La création d'un rapport utilisable pour le responsable de l'audit ou les chercheurs.

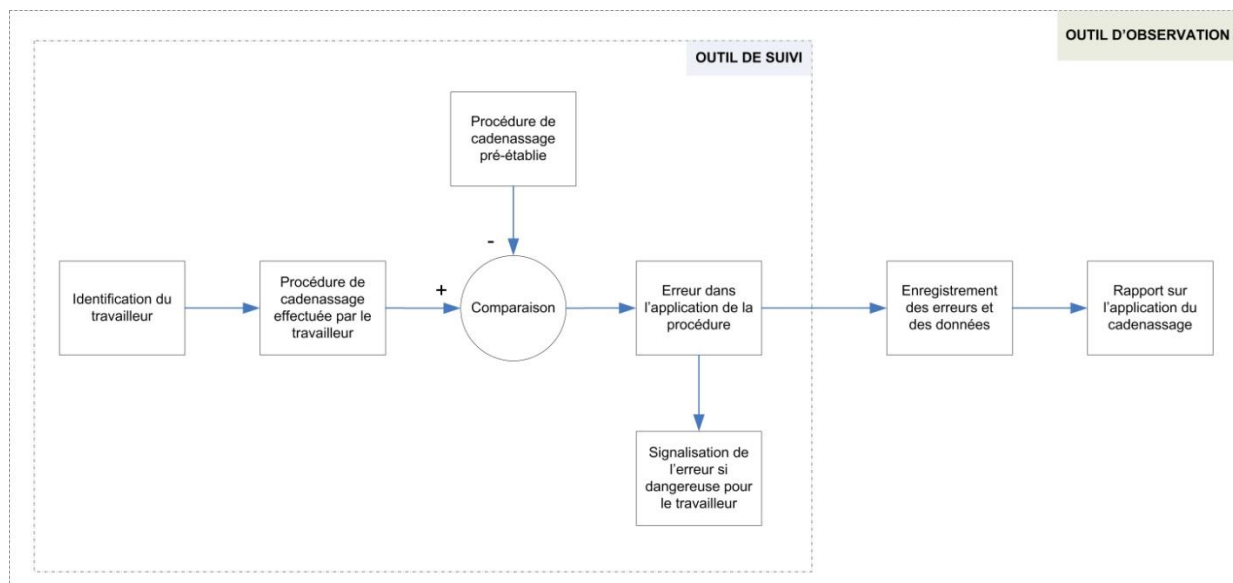


Figure 5. Schématisation des fonctions d'observation et de suivi de l'outil

6.2 Architecture de l'outil

À partir des résultats de l'analyse du besoin et après l'exploration de plusieurs solutions techniques, l'architecture retenue pour l'outil propose l'utilisation de capteurs sur la presse et de trois cartes électroniques équipées d'émetteurs-récepteurs pour une communication sans fil (Figure 6).

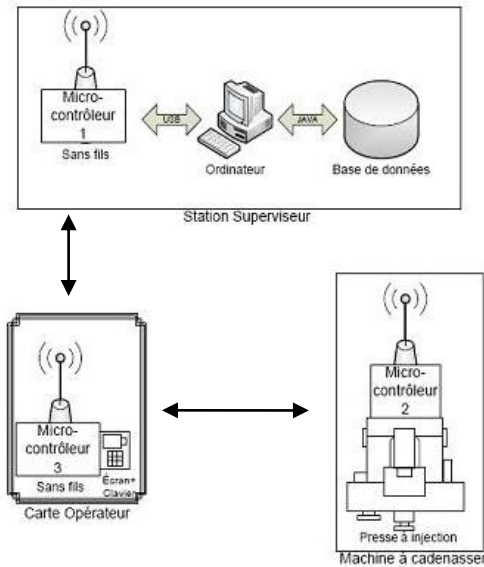


Figure 6. Vue d'ensemble de l'architecture de l'outil avec les trois cartes électroniques

Ces trois cartes électroniques sont :

- La carte « machine » qui est installée et fixée sur la presse à injection. Cette carte doit recueillir de manière filaire les données des capteurs installés sur la presse qui mesurent les changements d'état nécessaires au suivi de la procédure de cadernage (énergies, position des dispositifs d'isolement, etc.). Elle communique les changements d'état des capteurs à la carte « opérateur ».
 - La carte « opérateur » qui assure le suivi de la procédure de cadernage. Cette carte est mobile avec le travailleur qui effectue la procédure de cadernage. Elle est équipée d'un écran et d'un clavier, et joue le rôle d'interface entre l'outil et le travailleur. Ce dernier va tout d'abord s'identifier et ensuite, la carte affiche la procédure de cadernage à réaliser.
- Cette carte reçoit les données de la carte « machine » pour suivre l'avancement de la procédure et calculer si une erreur s'est produite en comparant l'état des capteurs en temps réel avec des combinaisons d'état des capteurs qui présentent des risques. Elle communique également avec la carte « superviseur » les données entrées par le travailleur, l'état des capteurs ainsi que les erreurs d'application de la procédure.
- La troisième carte, la carte « superviseur », est située en dehors de la zone de la machine grâce aux émetteurs-récepteurs. Cette carte est couplée à un ordinateur via une liaison Universal Serial Bus (USB) pour permettre l'enregistrement des données envoyées par la carte « opérateur ». L'ordinateur sert aussi à stocker la base de données pour l'identification des travailleurs, les mots de passe, les différentes procédures de cadernage type, etc. L'association entre la carte « superviseur » et l'ordinateur permet ainsi la création de rapports aidant l'audit et l'observation des procédures de cadernage.

Cette solution, basée sur trois cartes électroniques, possède les avantages suivants :

- L'utilisation de trois cartes électroniques, qui accomplissent chacune une partie des fonctionnalités de l'outil, offre plus de flexibilité pour la programmation informatique et le choix du matériel par rapport à des solutions avec une seule carte.
- Le choix d'une carte « machine » installée sur la presse, qui communique les données sans fil, permet une meilleure intégration de l'outil puisqu'il ne modifie pas l'espace de travail.
- Les signaux de la carte « machine » et par conséquent l'état des énergies de la machine seront accessibles partout autour de la machine. Cela laisse la possibilité d'enregistrer les données et de créer un rapport en dehors de la zone de travail.
- Allégée des fonctions de mesure, d'enregistrement et de gestion des données, la carte « opérateur » est une vraie carte mobile avec un poids convenable.

6.3 Développement du prototype

Afin de valider les spécifications choisies, un prototype a été développé en laboratoire. Les résultats suivants présentent le développement des fonctions « mesurer », « suivre » et « enregistrer ».

6.3.1 Fonction « Mesurer »

La carte chargée de remplir cet objectif est la carte « machine ».

En se basant sur les étapes d'une procédure de cadernage telles que mentionnées dans la norme CSA Z460-05 (2005), la carte « machine » va devoir mesurer à l'aide de capteurs les changements d'état pour les étapes suivantes : (i) arrêt de la machine, (ii) isolement des énergies dangereuses, (iii) condamnation, (iv) dissipation des énergies résiduelles et, (v) vérification d'absence des énergies dangereuses.

- Mesurer l'arrêt de la presse

La solution retenue se base sur l'utilisation du sectionneur du panneau électrique de la presse. On mesure la position du sectionneur à l'aide d'un potentiomètre rotatif (Figure 7). Lorsque le sectionneur est tourné pour changer sa position, le potentiomètre solidaire au sectionneur change également de position, ce qui modifie sa résistance électrique. Ce changement de résistance électrique couplé avec le paramètre de sa position initiale permet de mesurer si le travailleur a positionné le sectionneur sur OFF. Cette solution a été choisie dans la présente étude de faisabilité parce qu'elle était réalisable sans démontage important sur la machine.



Figure 7. Potentiomètre rotatif intégré au sectionneur de la presse à injection

- Mesurer l'isolement
 - Isolement de l'énergie électrique
- Pour l'isolement en énergie électrique, le choix a été fait de mesurer la tension électrique en aval du sectionneur à fusibles principal. Le capteur utilisé pour vérifier l'absence

de tension électrique en aval du sectionneur à fusibles principal est le vérificateur de tension PILZ PU3Z. Il mesure en permanence l'existence d'une tension et il envoie un signal de sortie en fonction de ses mesures.

- Isolement du circuit d'eau

Pour l'isolement du circuit d'eau, un capteur de proximité inductif a été installé. Ce capteur détecte la présence de la poignée métallique de la vanne lorsqu'elle est en position fermée.

Ce montage devra être amélioré notamment pour la neutralisation du capteur comme cela est mentionné à la section 7.3.

- Mesurer la condamnation

La mesure de la condamnation consiste à valider le verrouillage des cadenas sur les dispositifs d'isolement des sources d'énergie. Afin de pouvoir transmettre cette information, la solution choisie a été d'utiliser un cadenas électronique de la marque RCI modèle 3510 (Figure 8a). Il s'agit d'un cadenas dont une partie est fixe et l'autre montée sur le dispositif d'isolement de la source d'énergie. La partie mobile s'emboîte dans la partie fixe et le cadenas se verrouille par l'actionnement manuel d'un interrupteur. Lorsque le cadenas est verrouillé le signal de sortie donne 24 V, lorsqu'il ne l'est pas le signal est à 0 V.

L'interrupteur manuel du cadenas électronique devra être remplacé par un interrupteur à clé afin de pouvoir contrôler le retrait du cadenas comme cela est mentionné à la section 7.3.

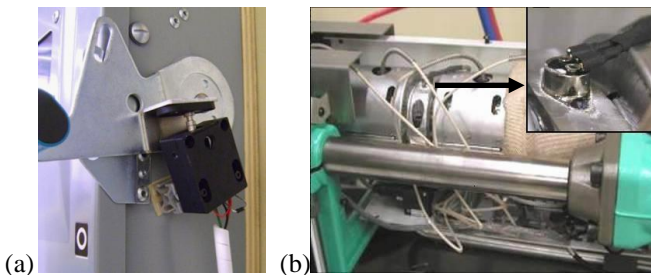


Figure 8. (a) Cadenas électronique sur le levier du sectionneur à fusibles, (b) Capteur de température

- Mesurer la dissipation des énergies accumulées

- Dissipation de l'énergie thermique

Le capteur de température utilisé pour mesurer si l'énergie thermique est dissipée a été installé à proximité de la buse et les cylindres de plastification puisque ces éléments sont ceux qui possèdent les températures opérationnelles les plus élevées. Les contraintes qui s'appliquent pour le choix de ce capteur sont un environnement pouvant atteindre au maximum 350 °C et un emplacement restreint. Ainsi, le capteur choisi et installé est un « Temperature Switch » de Stancor (Figure 8b). Il s'agit d'un capteur passif qui change de résistivité lorsque sa température dépasse une certaine valeur. Son changement d'état a ainsi été réglé et testé pour 43 °C, température que l'on considère sans danger. Si on couple l'information de l'état initial du capteur avec ses changements d'état, la carte « machine » est capable de mesurer l'information en lien avec « la dissipation de l'énergie thermique ».

- Dissipation de l'énergie potentielle

Lorsque la presse à injection est arrêtée, les vérins hydrauliques de la genouillère emmagasinent une énergie potentielle. Il est donc important de bloquer mécaniquement ces vérins avant d'intervenir sur la machine. Un capteur de proximité inductif, identique à celui utilisé pour la vanne d'eau, détecte la présence de la cale de blocage installée dans

le mécanisme de fermeture de la machine. Pour s'assurer que la cale reste installée, on lit l'état du capteur de proximité périodiquement. Il faut noter que la mise en place de la cale devra être réalisée en dernier, après l'étape de vérification. Ce montage devra être amélioré notamment pour la neutralisation du capteur comme cela est mentionné à la section 7.3.

- Dissipation de l'énergie hydraulique

Afin de détecter la présence de la pression hydraulique, un capteur de pression a été installé sur l'une des entrées libres du circuit hydraulique. Le capteur de pression choisi est un « EndressHauser Ceraphant PTP31 ». Ce capteur mesure la présence ou l'absence de pression dans le circuit hydraulique de la machine et envoie en conséquence une tension de 24 V qui sera utilisée pour confirmer l'absence d'énergie hydraulique.

- Mesurer l'étape de vérification

Le principe technique pour mesurer cette étape est le même que pour l'arrêt de la machine. On mesure la position du sectionneur local. Plus précisément, on devra (i) détecter le passage du sectionneur de la position OFF à ON, (ii) vérifier respectivement à l'aide du vérificateur de tension et du capteur de pression, l'absence de tension dans le circuit électrique et l'absence de pression dans le circuit hydraulique, et (iii) détecter le passage du sectionneur de la position ON à OFF. Si ces données sont recueillies par la carte « machine », l'étape de vérification est considérée lors de la présente étude comme accomplie.

6.4 Fonction « Suivre »

Cet objectif réalisé par la carte « opérateur » peut être subdivisé en trois fonctionnalités : (i) gérer l'authentification du travailleur, (ii) afficher la procédure de cadenassage et (iii) alerter le travailleur lorsqu'il commet une erreur qui peut être une menace pour sa sécurité et sa santé.

- Authentifier le travailleur

Avant de commencer la procédure de cadenassage, le travailleur doit s'identifier avec son nom et son mot de passe à l'aide du clavier de la carte « opérateur ».

Une fois ces informations saisies, leur validation s'effectue au niveau de la carte « superviseur ».

D'autres informations comme « le travail à accomplir » pourront être ajoutées en reprenant les mêmes principes développés pour le nom du travailleur et son mot de passe. Toutes ces informations permettront de faire une analyse plus précise des conditions dans lesquelles la procédure de cadenassage a été réalisée.

- Afficher la procédure de cadenassage

La carte « opérateur » affiche les étapes de la procédure de cadenassage à réaliser à l'aide d'un écran LCD. Ces données sont tirées de la base de données associée à la carte « superviseur ».

- Gérer les interruptions

Toutes les erreurs faites lors de l'application de la procédure de cadenassage (ex. séquence, omission d'une étape...) seront enregistrées par la carte « superviseur ».

Il a été choisi de prévenir le travailleur de son erreur que lorsque celle-ci pourrait avoir des conséquences pour sa sécurité et sa santé. Ce choix a été fait pour réduire au minimum le nombre d'interventions auprès du travailleur, et ainsi ne pas trop perturber l'observation.

Toutefois, un retour d'expérience avec le travailleur sur toutes les erreurs réalisées lors de l'application des procédures devra être fait ultérieurement. Ainsi, le responsable désigné pourra

utiliser le rapport d'erreurs lors d'une remise à niveau périodique ou d'un audit.

Pour effectuer la programmation logicielle des alertes, chaque opération ou élément a été représenté par une lettre (Tableau 1), puis des séquences logiques ont été définies pour s'assurer d'une procédure de cadenassage sécuritaire pour le travailleur (Tableau 2).

Tableau 1. Représentation des opérations par lettre

On-Off	A	Pression	E
Sectionneur	B	T °C	F
Valve eau	C	Test démarrage	G
Cadenas	D	Cale	H

Tableau 2. Séquence logique des opérations de cadenassage du point de vue de la sécurité directe du travailleur

Opération effectuée par le travailleur		Pour rester en sécurité	
		doit être fait après	doit être fait avant
A	On-Off (éteindre machine)	-----	B D G H
B	Couper le sectionneur à fusibles	A	D G H
C	Fermer la valve d'eau	-----	G H
D	Installer le cadenas au sectionneur à fusibles	A B	G H
E	Vérifier la pression	-----	G H
F	Vérifier la température	-----	G H
G	Test de démarrage	A B C D E F	H
H	Installer la cale	A B C D E F G	-----

Pour mieux comprendre cette logique, prenons l'exemple de l'étape D, l'installation du cadenas électronique du sectionneur à fusibles :

Installer le cadenas électronique du sectionneur à fusibles de façon sécuritaire survient obligatoirement après que la machine ait été arrêtée (A) et que le sectionneur à fusibles ait été coupé (B). Les étapes du test de démarrage (G) et de l'installation de la cale (H) doivent être obligatoirement effectuées après cette étape. Si une de ces conditions n'est pas satisfaite et que le travailleur installe le cadenas, il sera avisé de son erreur à l'aide d'une alarme visuelle et sonore.

En continuant cet exemple, si le travailleur vérifie la pression hydraulique (E) ou la température (F) avant d'installer le cadenas électronique sur le sectionneur à fusibles (D), il fait une erreur qui ne porte pas atteinte à sa santé et sa sécurité. Cette erreur ne lui sera donc pas signalée lors de l'application de la procédure.

6.5 Fonction « Enregistrer »

La fonctionnalité « enregistrement » est réalisée par la carte « superviseur » reliée par une liaison USB avec un ordinateur qui a la capacité de stocker les données. Cette ensemble (i) enregistre et valide l'identification du travailleur par l'intermédiaire de la carte « opérateur », (ii) enregistre la procédure réalisée par le travailleur, via la carte « opérateur », à l'aide des données de la carte « machine », et (iii) enregistre toutes les erreurs commises par le travailleur au cours de la procédure de cadenassage.

La finalité de ces enregistrements est la création d'un rapport exploitable pour les personnes effectuant les audits de l'application des procédures de cadenassage. Aussi, pour agencer toutes les informations et en arriver à un rapport exploitable, un travail de programmation et de création d'interfaces graphique a été effectué sur un logiciel de

programmation orienté objet, sous la plate-forme Java Enterprise Edition (JEE).

7 DISCUSSIONS

Cette section présente les tests qui ont été effectués sur le prototype de l'outil et les limites qui ont été identifiées.

7.1 Tests

Afin de valider et d'évaluer le potentiel des solutions choisies lors de l'étude, un prototype de l'outil a été réalisé (Figure 9).

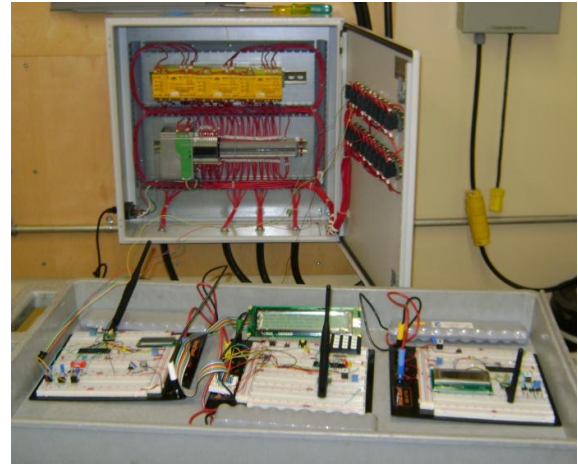


Figure 9. Intégration des trois cartes électroniques à la presse à injection lors des tests

Plusieurs séries de tests ont été effectuées afin de s'assurer que l'outil dans son architecture actuelle est viable, mais aussi pour identifier les problématiques liées à son développement.

Les tests consignés ont porté sur (i) le démarrage et le fonctionnement global des trois cartes électroniques, (ii) les liaisons sans fil, (iii) le module d'identification/authentification des travailleurs, (iv) le traitement des informations recueillies par les capteurs, et (v) le déclenchement et le traitement de l'alarme en cas d'erreur dangereuse pour le travailleur.

Les résultats obtenus sont satisfaisants malgré quelques problèmes de fiabilité comme la perte soudaine de fonctionnalité des cartes électroniques. Aussi, il est nécessaire d'améliorer la fiabilité de l'outil selon les principes énoncés dans le paragraphe qui suit.

7.2 Fiabilité

La fiabilité de l'outil électronique et de ses périphériques demeure problématique. Un défaut ou une accumulation de défauts pouvant mener à une perte des fonctions de l'outil devra être considéré. Une dégradation au niveau de n'importe quelle partie du système peut mener à de fausses mesures (ex. un capteur qui ne fonctionne plus, une déconnexion au niveau des câbles dans la boîte de jonction, un port du microcontrôleur qui ne reçoit ou qui n'émet pas correctement un signal ou un défaut dans l'architecture interne ou la programmation du microcontrôleur).

Les solutions à envisager consistent à faire usage des principes de redondance et de surveillance applicables aux systèmes de commande relatifs à la sécurité. Des normes telles que la CEI 61508-2 [CEI 61508-2, 2000], la CEI 62061 [CEI 62061, 2005] et l'ISO 13849-1 [ISO 13849-1, 2008] pourront être mises à contribution lors de la conception et du développement d'un tel outil électronique, afin de rendre le système fiable et sécuritaire. Il pourrait par exemple y avoir dans le même outil, pour chaque carte, deux ensembles de microcontrôleurs ayant les mêmes tâches. Une comparaison de l'information reçue par chaque microcontrôleur serait faite.

La sécurité de la partie logicielle devra aussi faire l'objet d'analyses plus poussées et les principes de programmation sécuritaire énoncés dans des normes telles que CEI 61508 (2000) et CEI 62061 (2005) devront être envisagés.

La pertinence d'utiliser des composantes de sécurité certifiées telles que des automates dédiés à la sécurité, des contrôleurs de discordance, des interrupteurs de position à ouverture forcée des contacts devra être explorée.

De plus, l'outil devra également être robuste aux interférences électromagnétiques émises par les machines aux alentours. Il devra aussi pouvoir résister à un environnement difficile comme un taux élevé d'humidité ou de poussière.

7.3 Éléments à améliorer

Comme nous l'avons vu, plusieurs solutions au niveau matériel devront être repensées puisque certaines d'entre elles ont été choisies de façon temporaire. On peut penser à :

- Remplacer l'interrupteur du cadenas électronique par un interrupteur à clé afin de contrôler le retrait du cadenas.
- Installer un cadenas électronique sur la valve d'eau, ou bien la remplacer par une valve électronique cadenassable.
- Remplacer les capteurs de proximité par des dispositifs plus fiables et difficiles à neutraliser.
- Rendre la cale pour la genouillère cadenassable.

8 CONCLUSION

L'outil qui est proposé pour suivre et observer des procédures de cadenassage est constitué de trois cartes électroniques à communication sans fil. Ces cartes sont :

- La carte « machine » installée sur la presse à injection qui mesure les changements d'état des énergies, des dispositifs d'isolement des sources d'énergie et des dispositifs de cadenassage lors de l'application de la procédure de cadenassage.
- La carte « opérateur » qui permet au travailleur de s'identifier au début de la procédure, qui affiche les étapes de la procédure de cadenassage rédigée pour la presse, et qui avertit en cas d'erreur pouvant mener à des situations dangereuses.
- La carte « superviseur » qui authentifie les travailleurs, enregistre les données recueillies lors de la procédure de cadenassage, et génère un rapport qui contient entre autres les erreurs du travailleur lors de l'application de la procédure de cadenassage.

L'architecture de l'outil permet de répondre aux objectifs initialement énoncés (Tableau 3).

Tableau 3. Comparaison entre les objectifs annoncés et les solutions développées

Objectifs annoncés	Solutions développées
Mesurer l'application des étapes de la procédure.	La carte « machine » gère la réception et la transmission des signaux des capteurs.
Assurer le suivi de l'application de la procédure	La carte « opérateur » permet aux travailleurs de s'identifier et de les guider tout au long de la procédure.
Enregistrer et évaluer l'application des étapes de la procédure.	La carte « superviseur » permet d'enregistrer les données recueillies lors du cadenassage, d'authentifier l'utilisateur, et de générer un rapport.
Évaluer la faisabilité de l'outil.	Prototype et tests sur la solution proposée.

Le prototype préliminaire développé et les tests réalisés démontrent la faisabilité d'un tel outil. Aussi, ce type d'appareillage pourrait assurément être incorporé dès la conception de certaines machines pour faciliter le suivi des procédures de cadenassage par les travailleurs et supporter l'audit.

9 REFERENCES

- ANSI/ASSE Z244.1, (2003) Control of hazardous energy, Lockout/tagout and alternative methods, American National Standard Institute, American Society of Safety Engineers: Illinois, États-Unis.
- ANSI/SPI B151.1, (2007) American national standard for plastics machinery - Horizontal injection molding machines - Safety requirements for manufacture, care and use, American National Standard Institute: Washington, États-Unis:
- Bureau of Labor Statistics, (2007) Census of Fatal Occupational Injuries. Archived Data - Fatality rates (employment-based) 1992-2007, BLS: Washington, États-Unis.
- CEI 61508-2, (2000) Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 2 : Prescription pour les systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité, Commission Électrotechnique Internationale : Genève, Suisse.
- CEI 62061, (2005) Sécurité des machines - Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité, Commission Électrotechnique Internationale : Genève, Suisse.
- Chinniah Y., Champoux M., Burlet-Vienney D., Daigle R., (2008) Analyse comparative des programmes et procédures de cadenassage appliqués aux machines industrielles (R-575), IRSST : Montréal, Canada.
- Chinniah Y., Champoux M., (2008) La sécurité des machines automatisées : analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique (R-557), IRSST: Montréal, Canada.
- CSA Z460-05, (2005) Control of hazardous energy: Lockout and other methods, Canadian Standards Association: Mississauga, Canada.
- CSST, (2008) La CSST invite les milieux de travail à cadenasser, site Internet de commission de la santé et de la sécurité du travail, CSST : Montréal, Canada.
- EN 201, (2006) Machines pour le caoutchouc et les matières plastiques - machines à injecter - prescriptions de sécurité, norme européenne, Association Française de Normalisation : Paris, France.
- ISO 12100 :2010, (2010) Sécurité des machines - Principes généraux de conception – Appréciation du risque et réduction du risque, International Standard Organisation: Genève, Suisse.
- ISO 13849-1, (2008) Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1: Principes généraux de conception, International Standard Organisation: Genève, Suisse.
- RSST, (2001) Règlement sur la Santé et la Sécurité du Travail (c. S-2.1, r.19.01), Éditeur officiel du Québec : Québec, Canada