

É

Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

RAPPORT R-615



Développement d'un outil d'observation et de suivi des procédures de cadenassage sur une presse à injection

Étude de faisabilité

*Yuvin Chinniah
El-Kébir Boukas
Ary Pizarro-Chong
Moaad El Aboudi
Damien Burllet-Vienney
Christian Sirard
Renaud Daigle*



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.

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

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

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

Pour en savoir plus

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

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : 1-877-221-7046 www.irsst.qc.ca/fr/pat-abonnement.html

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2009
ISBN : 978-2-89631-384-6 (version imprimée)
ISBN : 978-2-89631-385-3 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
juin 2009

Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

RAPPORT R-615

Développement d'un outil d'observation et de suivi des procédures de cadencage sur une presse à injection

Étude de faisabilité

Avis de non-responsabilité

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

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

*Yuvin Chinniah, Service de la recherche, IRSST
El-Kébir Boukas, Ary Pizarro-Chong et Moaad El Aboudi,
Département de génie mécanique, École Polytechnique de Montréal
Damien Burlet-Vienney, Christian Sirard et Renaud Daigle,
Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST*



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

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

SOMMAIRE

Le cadenassage est défini dans la norme CSA Z460-05 (2005) 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. L'article 185 du Règlement sur la Santé et la Sécurité du Travail du Québec (RSST) exige qu'« *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* ».

Une étude récente menée par l'IRSST, en lien avec les programmes et procédures de cadenassage, a révélé que le cadenassage pose des difficultés majeures aux entreprises au Québec en termes d'appropriation, de développement, de mise en application et de maintien actif des programmes et procédures de cadenassage. Une des actions à mener pour le maintien actif du cadenassage en entreprise, et à laquelle nous nous intéressons dans cette étude, est l'audit de l'application des procédures de cadenassage. Les entreprises semblent éprouver des difficultés à ce niveau, ainsi, la nécessité de développer un outil assurant un suivi des procédures se fait sentir. Un tel outil pourrait également servir lors d'un projet de recherche futur mené par l'IRSST sur l'observation de l'application des procédures de cadenassage en entreprises au Québec. En effet, les chercheurs pourront s'appuyer sur l'outil pour observer, de façon autonome, les travailleurs effectuant des procédures de cadenassage sur plusieurs quarts de travail.

Les objectifs fixés lors de cette étude exploratoire sont de :

- Évaluer la faisabilité de développer un outil d'observation et de suivi des procédures de cadenassage;
- Définir les exigences de conception de cet outil en laboratoire en utilisant une presse à injection de plastique.

La solution retenue est un outil intelligent permettant l'observation et le suivi d'une procédure de cadenassage sur la presse à injection de plastique située dans le laboratoire SOMPI (sécurité des outils, des machines et des procédés industriels) à l'IRSST. Cet outil est constitué de trois cartes électroniques à communication sans fil remplissant chacune une fonction précise. Une version préliminaire de l'outil qui a été développée au cours de cette étude se compose de deux volets essentiels : équipement et logiciel. Du côté équipement, on retrouve trois microcontrôleurs intégrés dans trois cartes électroniques :

- Une carte « machine » dédiée à la lecture des capteurs installés principalement sur la presse à injection pour mesurer la présence ou l'absence des énergies dangereuses et des éléments additionnels dans la procédure de cadenassage;

- Une carte « opérateur », contenant une entrée de clavier et un écran pour que le travailleur s'identifie et suive des procédures de cadenassage. De plus, la carte indique au travailleur les erreurs commises lors de l'application des procédures;
- Une carte « superviseur » utilisée comme interface avec une base de données pour l'enregistrement et le traitement de ces données. Cette carte est reliée à un ordinateur et ce sous-système remplira la fonction d'observation de l'application des procédures de cadenassage sur la presse à injection en produisant des rapports sur les erreurs commises et éventuellement aidera à auditer l'application des procédures de cadenassage en entreprise.

Du côté logiciel, chaque microcontrôleur contient un programme spécifique lui permettant d'accomplir ses tâches.

- Le programme de la carte « opérateur » demande des entrées de la part du travailleur par l'intermédiaire du clavier, affiche les données sur l'écran LCD et analyse les erreurs commises par le travailleur au cours de sa procédure. Pour cela, il amorcera des communications sans fil avec la carte « superviseur » et la carte « machine »;
- Le programme de la carte « superviseur », sur demande de la carte « opérateur », communique avec un ordinateur avec lequel elle est interfacée pour transmettre les données qui constitueront les rapports de chaque application des procédures de cadenassage;
- Le programme de la carte « machine » permet de vérifier l'état de tous les capteurs et les transmet sur demande à la carte « opérateur ».

Cette étude a permis de définir les exigences de conception d'un outil d'observation et de suivi des procédures de cadenassage et de démontrer la faisabilité d'un tel outil. Par ailleurs, plusieurs limites et difficultés entourant le développement et la mise en application en milieu industriel d'un tel outil, prévus dans une étude future de l'IRSST, ont été identifiées.

REMERCIEMENTS

Les membres de l'équipe tiennent à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette étude, notamment : Réal Bourbonnière, Julien Carras, Maxime Asselin, Marcel Baron, Mathieu Lozeau, Jacques Girardin, Gilles Paradis et Nour Aimene.

Nous désirons également remercier l'entreprise qui nous a accueillie lors d'une visite industrielle effectuée afin de mieux comprendre le fonctionnement d'une presse à injection de plastique en milieu industriel et de se familiariser avec les défis qui peuvent surgir lors de l'observation et le suivi d'une procédure de cadenassage sur ce type de machine.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	i
REMERCIEMENTS.....	iii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
1. INTRODUCTION	1
1.1 Problématique de santé et sécurité du travail.....	1
1.2 Objectifs de la présente étude	3
1.3 Contenu du rapport	4
2. CADRE DE RÉFÉRENCE.....	5
2.1 Normalisation en sécurité des machines	5
2.1.1 Généralités	5
2.1.2 Presse à injection de plastique	6
2.2 Normalisation et réglementation du cadenassage.....	6
2.2.1 Généralités	6
2.2.2 Programme de cadenassage	6
2.2.3 Procédure de cadenassage.....	7
3. MÉTHODOLOGIE.....	9
4. PRESSE À INJECTION PLASTIQUE AUTOMATISÉE.....	11
4.1 Fonctionnement de la presse à injection de plastique.....	11
4.2 Zones dangereuses	13
4.3 Énergies dangereuses sur la presse à injection de plastique	13
4.3.1 Énergie électrique	13
4.3.2 Énergie hydraulique	14
4.3.3 Énergie thermique.....	14
4.3.4 Énergie mécanique.....	15
4.4 Dispositifs d'isolement des sources d'énergie.....	15
4.5 Procédure de cadenassage appliquée à la presse à injection de plastique.....	16
4.5.1 Arrêt	16
4.5.2 Isolation.....	17
4.5.3 Condamnation	17
4.5.4 Dissipation ou purge	17
4.5.5 Vérification	18
5. RÉSULTATS - EXIGENCES DE CONCEPTION D'UN OUTIL D'OBSERVATION ET DE SUIVI DES PROCÉDURES DE CADENASSAGE	21
5.1 Hypothèses de travail.....	21
5.2 Définition de l'outil.....	21
5.3 Exigences de conception retenues	24

5.3.1	Architecture de l'outil	24
5.3.1.1	Architecture globale.....	24
5.3.1.2	Matériel retenu	26
5.3.2	Mesurer les changements d'état lors de la procédure de cadénassage.....	29
5.3.2.1	Fonctionnement.....	30
5.3.2.2	Mesurer l'arrêt de la presse.....	30
5.3.2.3	Mesurer l'isolement	31
5.3.2.4	Mesurer la condamnation.....	32
5.3.2.5	Mesurer la dissipation des énergies accumulées.....	33
5.3.2.6	Mesurer l'étape de vérification dans la procédure de cadénassage ..	35
5.3.3	Assurer le suivi	35
5.3.3.1	Authentification du travailleur.....	36
5.3.3.2	Afficher la procédure de cadénassage.....	36
5.3.3.3	Gestion des interruptions	36
5.3.4	Enregistrer et évaluer	37
5.3.4.1	Analyse et spécifications techniques pour l'enregistrement et l'évaluation	38
5.3.4.2	Architecture et développement logiciel de la plate-forme pour l'enregistrement et l'évaluation	41
6.	DISCUSSIONS.....	45
6.1	Faisabilité de l'outil : études expérimentales.....	45
6.1.1	Tests sur les trois cartes électroniques	45
6.1.2	Tests sur la liaison carte « superviseur » - ordinateur et la plate-forme « SSPC »	48
6.2	Limites de l'étude et points de réflexion.....	48
6.2.1	Fiabilité	49
6.2.2	Éléments à améliorer.....	49
6.2.2.1	Étape de vérification de la procédure de cadénassage	49
6.2.2.2	Capteurs et matériel	49
6.2.3	Flexibilité	50
6.2.4	Éthique/Influence sur le travailleur.....	51
6.2.5	Collaboration d'un partenaire industriel	51
7.	CONCLUSION.....	53
	BIBLIOGRAPHIE.....	55
	ANNEXE A : EXEMPLES DE FICHES DE CADENASSAGE POUR LA PRESSE À INJECTION PLASTIQUE DE L'IRSST	59
	ANNEXE B : BRANchemENTS DES ÉLÉMENTS DES CARTES MACHINE/OPÉRATEUR/SUPERVISEUR	63
	ANNEXE C : ORGANIGRAMMES TECHNIQUES.....	67
	ANNEXE D : PROGRAMMATION ET INTERFACE GRAPHIQUE.....	73

ANNEXE E :	SPECIFICATIONS DES CAPTEURS.....	77
ANNEXE F :	FICHES TECHNIQUES DES MICROCONTROLEURS	79

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Classification des normes sur la sécurité des machines	5
Figure 2: Contenu typique d'un programme et d'une procédure de cadenassage.....	8
Figure 3: Presse à injection dans le laboratoire SOMPI de l'IRSST.....	11
Figure 4: Presse à injection avec ses composantes principales.....	12
Figure 5: Zones dangereuses de la presse à injection	13
Figure 6: Panneau électrique haute-tension	14
Figure 7: Moteur hydraulique alimentant la vis sans fin	14
Figure 8: Éléments chauffants (cylindre de plastification).....	15
Figure 9: Mécanisme de fermeture	15
Figure 10: Sectionneur à fusibles principal	16
Figure 11: Vanne d'eau	16
Figure 12: Cale de blocage installée sur la genouillère	18
Figure 13: Boutons de démarrage et de réarmement identifiés sur le pupitre des commandes.....	19
Figure 14: Armoire électrique de la presse et sectionneur de la machine	19
Figure 15: Schématisation des interactions de l'outil d'observation et de suivi avec son environnement.....	22
Figure 16: Schématisation des fonctions d'observation et de suivi de l'outil.....	23
Figure 17: Vue d'ensemble pour la solution retenue	24
Figure 18: Carte machine.....	27
Figure 19: Carte opérateur	28
Figure 20: Carte superviseur.....	29
Figure 21: Potentiomètre rotatif intégré au sectionneur de la presse à injection.....	31
Figure 22: Vérificateur de tension Pilz	31
Figure 23: Capteur de proximité pour vanne d'eau.....	32
Figure 24: Installation du capteur de proximité (jaune).....	32
Figure 25: Cadenas électronique installé sur le sectionneur à fusibles.....	33
Figure 26: Capteur de température installé sur la presse	34
Figure 27: Installation du capteur de proximité et de la cale.....	34
Figure 28: Capteur de pression hydraulique	35
Figure 29: Capteur de pression sur le circuit hydraulique de la presse à injection.....	35
Figure 30: Diagramme de cas d'utilisation globale du système	39
Figure 31: Page d'accueil du « Système de Suivi des Procédures de Cadenassage »	41
Figure 32: Liste des utilisateurs et des fonctionnalités disponibles.....	42
Figure 33: Page de génération de rapports de suivi	43
Figure 34: Intégration des trois cartes électroniques à la presse à injection lors des tests	45
Figure 35: Texte de bienvenue affiché sur l'écran LCD de la carte « opérateur ».....	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Revue du cadenassage.....	2
Tableau 2: Description de l'énergie électrique sur la presse à injection	14
Tableau 3: Description de l'énergie hydraulique sur la presse à injection.....	14
Tableau 4: Description de l'énergie thermique sur la presse à injection.....	15
Tableau 5: Description de l'énergie mécanique sur la presse à injection.....	15
Tableau 6: Énergies et points d'isolation.....	17
Tableau 7: Énergies et points de condamnation	17
Tableau 8: Représentation des opérations par lettre	37
Tableau 9: Séquence logique des opérations de cadenassage du point de vue de la sécurité directe du travailleur	37
Tableau 10: Cas d'utilisation, « création des comptes utilisateurs ».....	39
Tableau 11: Tests de fonctionnement des trois cartes électroniques et des capteurs installés sur la presse à injection.....	46
Tableau 12: Tests à réaliser sur la plate-forme « SSPC » et la liaison USB entre la carte « superviseur » et l'ordinateur	48
Tableau 13: Récapitulatif des actions à entreprendre au niveau du matériel pour la suite du développement de l'outil.....	50
Tableau 14: Comparaison entre les objectifs énoncés et les solutions développées.....	53

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique de santé et sécurité du travail

En industrie, les machines dédiées pour la production sont régulièrement exposées à des incidents de nature diverse. Ces aléas peuvent réduire la production et causer de sérieux problèmes si aucune action n'est prise pour y remédier. Afin d'augmenter la disponibilité des machines et par conséquent la productivité, il est nécessaire de procéder à des interventions de maintenance (corrective et préventive) et des déblocages en cas de besoin. Ces interventions requièrent une présence humaine et il est primordial de protéger la santé et la sécurité des travailleurs qui les exécutent. En Amérique du Nord, le moyen prévu pour protéger les travailleurs, dans ces situations précises, demeure en premier lieu le 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 par la CSST et impliquant des machines industrielles, montrent l'ampleur du problème de l'application des procédures de cadenassage. Une recherche rapide, dans la base de données de la CSST [CSST, 2008], a permis de recenser 72 rapports d'accidents où le cadenassage est identifié comme une des causes retenues pour expliquer l'accident. Deux accidents récents extraits de cette base de données sont présentés à titre d'exemple :

- 2008-01-18, **Décès** d'un travailleur, écrasé mortellement, à la station de ski de Stoneham, « *La CSST [...] a exigé que l'employeur élabore une nouvelle procédure de cadenassage et procède à la formation des travailleurs sur la nouvelle procédure de cadenassage...* »
- 2007-08-4, **Décès** par électrocution d'un jeune travailleur d'Axima services à Montréal, « *La procédure de cadenassage en vigueur est insuffisante et non spécifique quant aux opérations à exécuter.* »

Aux États-Unis, l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) a recensé pour la seule année 2000, 4149 violations de son règlement OSHA 29 CFR 1910.147 [OSHA, 1989] sur l'application des procédures de cadenassage. Le tiers des violations au règlement aux États-Unis concernait l'absence de programme et/ou de procédure de cadenassage dans l'entreprise [Mutawe, 2002]. Plus récemment, en 2005, le cadenassage était la 5^e cause la plus citée par l'OSHA dans ses rapports en lien avec les violations du règlement et 90 % de ces citations étaient, là aussi, dues à une absence de cadenassage [US Department of Labor, 2005].

Une étude a révélé qu'une application plus stricte de l'OSHA 1910.147 pourrait éviter chaque année, aux États-Unis, pour des opérations de maintenance et de réparation, la mort de 122 travailleurs et 18 300 blessures ayant conduit à la perte de jours complets de travail [US Department of Labor, 2005].

D'ailleurs, une des étapes négligées par les entreprises au Québec est l'audit, ou revue du cadenassage [Chinniah et al., R-575, 2008]. Ainsi, le tableau 1 révèle que moins d'un tiers des 31 programmes de cadenassage d'entreprises analysés mentionnaient la revue du programme de cadenassage et de son application.

Généralement, la revue du cadenassage peut être scindée en trois actions, l'audit du système, l'audit de l'application du cadenassage et l'audit de conformité [Daoust, 2003]. Cependant, il faut préciser que cette étude n'a de liens qu'avec l'audit de l'application du cadenassage. «

- *L'audit du système est la vérification du programme de cadenassage dans une usine, un département ou un secteur. [...] Essentiellement, la réponse à cette question est évaluée : fait-on ce que l'on prétend faire?*
- *L'audit de l'application du cadenassage est d'une portée plus restreinte. Il s'agit de vérifier l'application spécifique du cadenassage sur des équipements choisis par le vérificateur.*
- *L'audit de conformité est [...] nécessaire pour s'assurer que le programme de cadenassage est toujours efficace. »*

Tableau 1: Revue du cadenassage

Éléments abordés dans les programmes de cadenassage de 31 entreprises au Québec	Petites entreprises (7)	Moyennes entreprises (17)	Grandes entreprises (7)
La revue du programme de cadenassage	14 %	29 %	29 %
La revue de l'application du cadenassage	43 %	24 %	29 %
La documentation de la revue du cadenassage	14 %	12 %	29 %
Précision sur les personnes responsables des audits	14 %	47 %	71 %

L'absence de suivi et de vérification peut se traduire par du laxisme dans l'application du cadenassage et par une certaine tolérance, ou accoutumance, des situations dangereuses de la part des travailleurs. Concrètement, l'absence de revue du cadenassage peut poser problème pour les raisons suivantes :

- Le maintien à jour et actif du programme et des procédures semble difficile sans la revue régulière de l'application du cadenassage par les personnes compétentes au sein des entreprises;
- Les retours d'information sur le programme et les procédures de cadenassage ne sont pas gérés et ainsi les manques ne sont pas corrigés.

Par ailleurs, la norme CSA Z460 préconise qu'à intervalles réguliers, une évaluation de l'état et de l'efficacité de chaque élément du programme de cadenassage soit requise (ex. programme écrit, les procédures propres aux machines, les dispositifs de cadenassage, les dispositifs d'isolement des énergies, la formation, etc.). La norme précise que la surveillance, la mesure et l'évaluation des éléments du programme devraient être prévues dans la revue du programme et qu'un système de mesures permettant d'obtenir des données qualitatives et quantitatives sur le rendement en matière de cadenassage est requis [CSA Z-460-05, 2005].

Compte tenu de l'importance du cadenassage et en considérant les déficiences au niveau de l'application du cadenassage en industrie au Québec, il nous apparaît nécessaire d'évaluer différentes solutions visant à aider l'audit qui porte sur l'application des procédures de

cadenassage. Une solution possible consiste à développer un outil d'observation et de suivi de l'application des procédures de cadenassage. Cet outil pourrait également aider les chercheurs dans un projet de recherche futur sur l'application du cadenassage dans divers secteurs d'activité au Québec.

1.2 Objectifs de la présente étude

Lors de cette étude exploratoire, les objectifs fixés sont :

- Évaluer la faisabilité du développement d'un outil d'observation et de suivi des procédures de cadenassage qui pourrait aider à observer et à suivre l'application du cadenassage en milieu industriel;
- Définir les exigences de conception de cet outil en laboratoire en utilisant une machine dangereuse, notamment une presse à injection de plastique automatisée située à l'IRSST. 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.

Dans un projet de recherche futur, l'outil sera développé et mis à l'essai dans un premier temps sur la presse à injection de l'IRSST et ensuite en milieu industriel. Les objectifs à plus long terme sont donc de :

- Effectuer les enregistrements des étapes lors des procédures de cadenassage sur plusieurs quarts de travail en milieu industriel de façon autonome afin d'observer les pratiques des travailleurs en lien avec l'application des procédures de cadenassage. Ces enregistrements fourniront aux chercheurs des données utiles pour une autre étude sur l'application pratique du cadenassage en milieu industriel. Ainsi, l'outil permettra de déterminer si les procédures de cadenassage sont appliquées et applicables et d'identifier les causes de non-application;
- Aider les personnes en charge des audits en milieu industriel sur l'application du cadenassage de l'entreprise en facilitant l'évaluation des procédures;
- Offrir un suivi aux travailleurs lors de leur procédure de cadenassage et leur signaler les erreurs qui pourraient porter atteinte à leur sécurité;
- Agir comme un outil pédagogique en aidant à la formation des travailleurs sur l'application du cadenassage.

En complément de ces objectifs, les limites de l'étude ont été identifiées à la section 6.2. Par ailleurs, il convient de préciser que cet outil, s'il est développé, s'adressera principalement aux milieux industriels utilisant des machines et équipements fixes.

1.3 Contenu du rapport

Ce rapport décrit tout d'abord à la section 2 les normes encadrant la sécurité des machines ainsi que les normes détaillant les pratiques du cadenassage. La section 3 décrit la méthodologie utilisée pour atteindre les objectifs de l'étude. Ensuite, la section 4 présente la presse à injection de l'IRSST, son fonctionnement, ses zones et énergies dangereuses. Cette section donne également un aperçu des procédures de cadenassage à réaliser sur cette machine. La section 5 dévoile quant à elle les résultats de l'étude avec les exigences de conception de l'outil. Dans la section 6, les discussions sur la faisabilité et les limites de l'outil sont présentées, et la conclusion du rapport est détaillée à la section 7.

2. CADRE DE RÉFÉRENCE

2.1 Normalisation en sécurité des machines

2.1.1 Généralités

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

Ainsi, une grande quantité de normes sur la sécurité des machines est disponible. La figure 1 illustre la classification des normes machines. Les normes de type A font état des concepts et principes fondamentaux qui s'appliquent à toutes les machines. C'est le cas, par exemple, de l'ISO 14121 (2007) qui précise les principes de base pour l'appréciation du risque sur les machines [ISO 14121, 2007]. Il en va de même pour les normes ISO 12100-1 (2003) et ISO 12100-2 (2003) qui spécifient la terminologie, la méthodologie et les principes techniques associés à la conception sécuritaire des machines [ISO 12100, 2003]. Les normes de type B vont quant à elles décrire les exigences concernant des fonctions de sécurité (ex. ISO 13849-1 [ISO 13849-1, 2006]) ou les dispositifs de protection spécifiques (ex. CEI 61496-1 [CEI 61496-1, 2004]). Finalement, il existe les normes de type C qui sont spécifiques à des types de machines (ex. EN 693 [EN 693, 2001]).

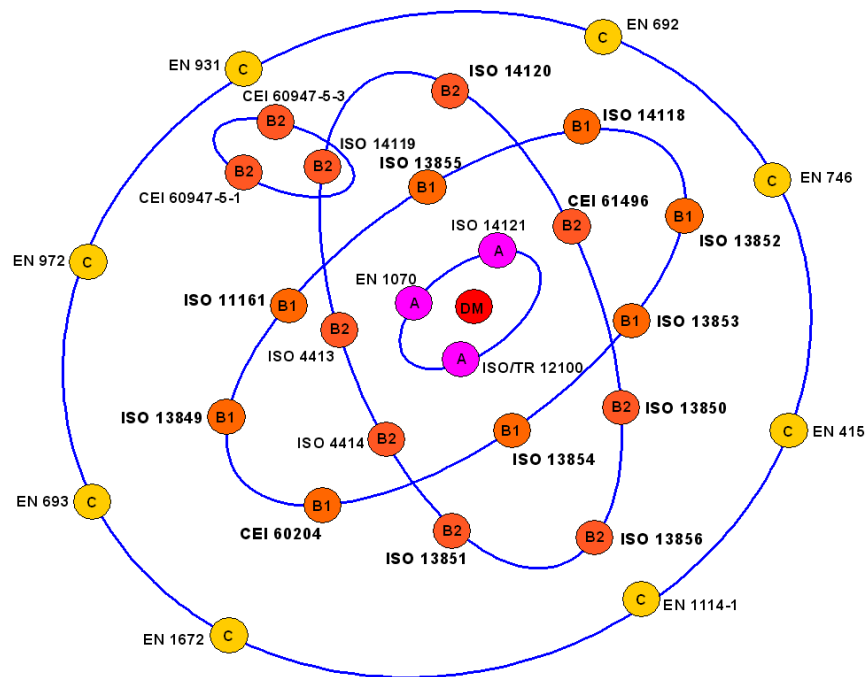


Figure 1: Classification des normes sur la sécurité des machines

2.1.2 Presse à injection de plastique

Tel que mentionné dans la sous-section précédente, il existe des normes qui s'adressent spécialement à un type de machine. Ainsi, la norme européenne EN 201 (2006) et la norme américaine ANSI/SPI B151.1 (2005) précisent les exigences que doivent rencontrer les presses à injection de plastique [EN 201, 2006] [ANSI B151.1, 2005]. Il faut souligner qu'il n'existe actuellement aucune norme canadienne spécifique à la sécurité des presses à injection de plastique.

2.2 Normalisation et réglementation du cadenassage

2.2.1 Généralités

Au Canada et au Québec, le cadenassage est réglementé par l'intermédiaire respectivement du règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail (RCSST) article 13.16 [RCSST, 2008], et du règlement sur la santé et la sécurité du travail au Québec (RSST) article 185 [RSST, 2001]. En se basant sur l'article 185 du RSST, « *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* ».

Aux États-Unis, l'OSHA 29 CFR 1910.147 réglemente le cadenassage et l'impose lorsqu'un travailleur entre dans la zone dangereuse d'une machine pour des opérations telles que la maintenance ou encore le déblocage. Au niveau 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. Ces normes insistent notamment sur le fait que les entreprises doivent définir leur programme de cadenassage, comme décrit dans à la prochaine section.

2.2.2 Programme de 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 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. »*

2.2.3 Procédure de cadenassage

Les procédures de cadenassage telles que décrites dans la norme CSA Z460-05 (2005) doivent énoncer clairement les exigences relatives à l'isolement adéquat d'une machine, d'un équipement ou d'un procédé. Les procédures de cadenassage doivent comprendre les éléments suivants : «

- *Le nom de la machine, de l'équipement ou du procédé;*
- *La liste de tous les dispositifs d'isolement des sources d'énergie et leur emplacement;*
- *La description étape par étape des procédures d'arrêt, d'isolement, de condamnation, de dégagement de l'énergie accumulée ou résiduelle et de vérification;*
- *La description étape par étape du retrait des dispositifs de cadenassage; et*
- *Les exigences de vérification relatives à l'évacuation de tous les employés du ou des lieux de travail de même qu'à l'inspection des machines, des équipements et des procédés en vue de s'assurer qu'ils sont prêts à être remis en service. »*

La figure 2 illustre le contenu d'un programme et d'une procédure de cadenassage type, en se basant sur la norme CSA Z460-05 (2005).

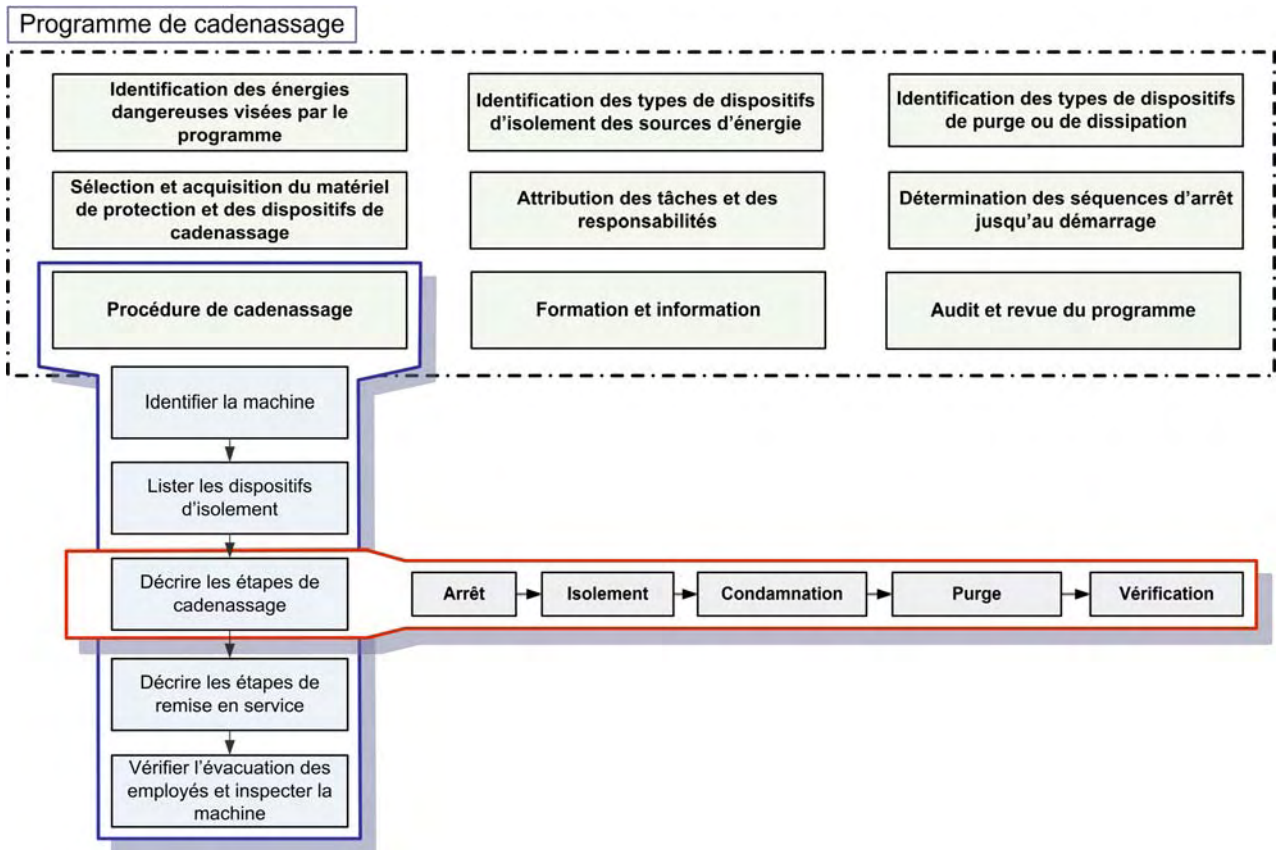


Figure 2: Contenu typique d'un programme et d'une procédure de cadenassage

3. MÉTHODOLOGIE

Une méthodologie a été développée afin de répondre aux deux objectifs principaux de l'étude qui sont :

- Évaluer la faisabilité du développement d'un outil d'observation et de suivi des procédures de cadenassage qui pourrait aider à observer et à suivre l'application du cadenassage en milieu industriel;
- Définir les exigences de conception de cet outil dans un environnement contrôlé en travaillant sur une presse à injection de plastique automatisée située dans le laboratoire de sécurité des machines à l'IRSST.

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

- 1) Recherche bibliographique sur l'étape d'audit de l'application du cadenassage afin de mieux comprendre cet élément crucial dans un programme de cadenassage et de confirmer qu'un outil d'observation et de suivi de la procédure de cadenassage n'existe pas déjà.
- 2) Familiarisation avec le fonctionnement de la presse à injection de plastique de l'IRSST notamment en observant la machine en opération et en effectuant des essais de fonctionnement. Lors de cette étape, le rapport R-557 [Chinniah et al., R-557, 2008] disponible sur le site web de l'IRSST sera mis à contribution pour l'identification des énergies et des zones dangereuses de cette machine.
- 3) Observation de l'application d'une procédure de cadenassage en milieu industriel afin d'analyser les conditions de travail sur une presse à injection et d'identifier les particularités liées à l'application du cadenassage sur ce type de machine.
- 4) Rédaction des 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 et choisir la solution de conception accompagnée des justifications nécessaires, tout en mentionnant les limites de l'approche choisie.
- 7) Assembler une version préliminaire d'un prototype de l'outil et l'intégrer sur la presse à injection.
- 8) Effectuer des essais de fonctionnement de l'outil d'observation et de suivi.

4. PRESSE À INJECTION PLASTIQUE AUTOMATISÉE

4.1 Fonctionnement de la presse à injection de plastique

La presse à injection de plastique de l'IRSST illustrée à la figure 3 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, car elle comporte plusieurs phénomènes dangereux de natures différentes (ex. mécanique, thermique, hydraulique, chimique et électrique).



Figure 3: Presse à injection dans le laboratoire SOMPI de l'IRSST

Les différentes composantes de la presse, présentées à la figure 4, 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.

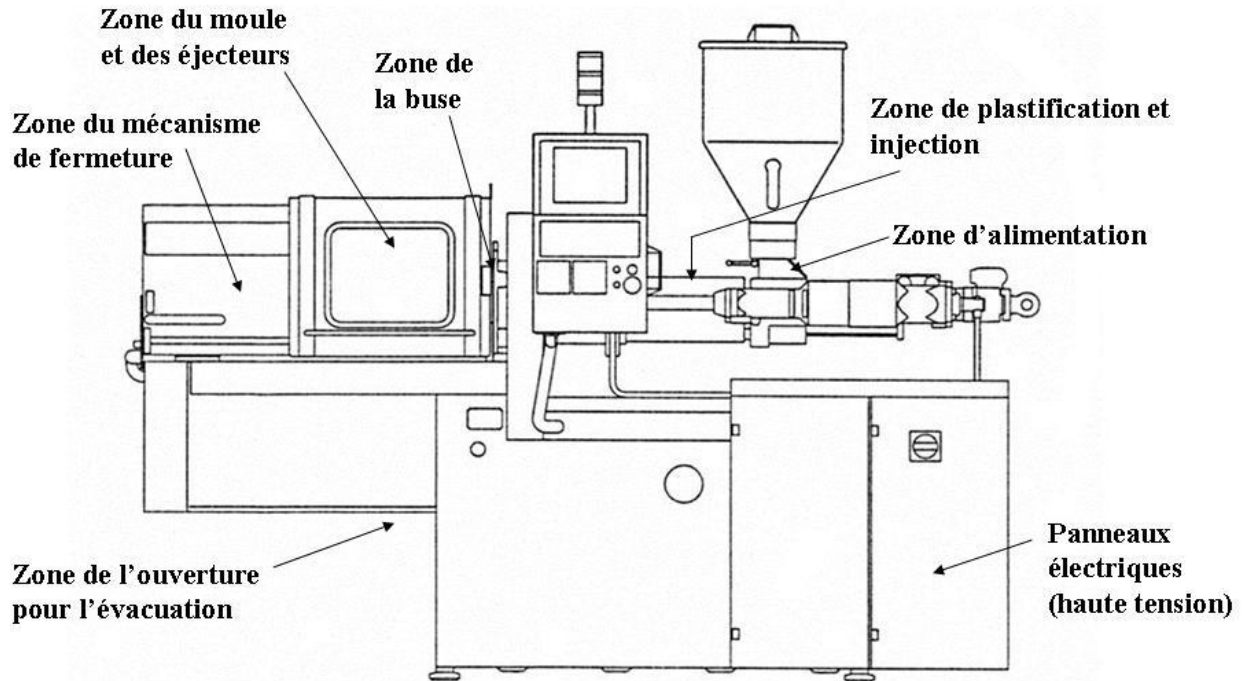


Figure 4: Presse à injection avec ses composantes principales

Le principe de fonctionnement de cette presse à injection se résume aux étapes suivantes :

- En premier lieu, les pastilles en plastique sont emmenées par gravité de la trémie jusqu'au point d'alimentation dans l'unité de plastification et d'injection. L'unité de plastification et d'injection a pour rôle de faire fondre des pastilles de plastique par l'apport de la chaleur générée par des éléments chauffants et par la friction causée par la rotation de la vis de l'unité. Cette vis assure aussi le transport et la mise sous pression de la matière fondue à travers la buse jusque dans le moule.
- L'unité de fermeture permet la fermeture et le blocage de la partie du moule fixée au plateau mobile, sur la partie du moule assemblée au plateau fixe. Cette unité permet donc de conserver le moule fermé pendant l'injection et le refroidissement du plastique. Bien sûr, celle-ci assure également l'ouverture du moule à la fin d'un cycle de production.
- De son côté, l'unité de refroidissement du moule est utilisée pour abaisser la température du plastique se retrouvant dans l'empreinte du moule à des fins de solidification.
- Une fois le refroidissement de la ou des pièces de plastique terminé et l'ouverture du moule complétée, l'unité d'éjection se charge d'extraire (par éjection) la ou les pièces du moule.

Afin de mieux cerner les risques encourus par les travailleurs lors des interventions sur ce type de machine, une description des zones dangereuses identifiées sur cette machine est présentée à la prochaine sous-section.

4.2 Zones dangereuses

Les zones dangereuses identifiées sur la presse à injection de plastique de l'IRSST sont illustrées à la figure 5.

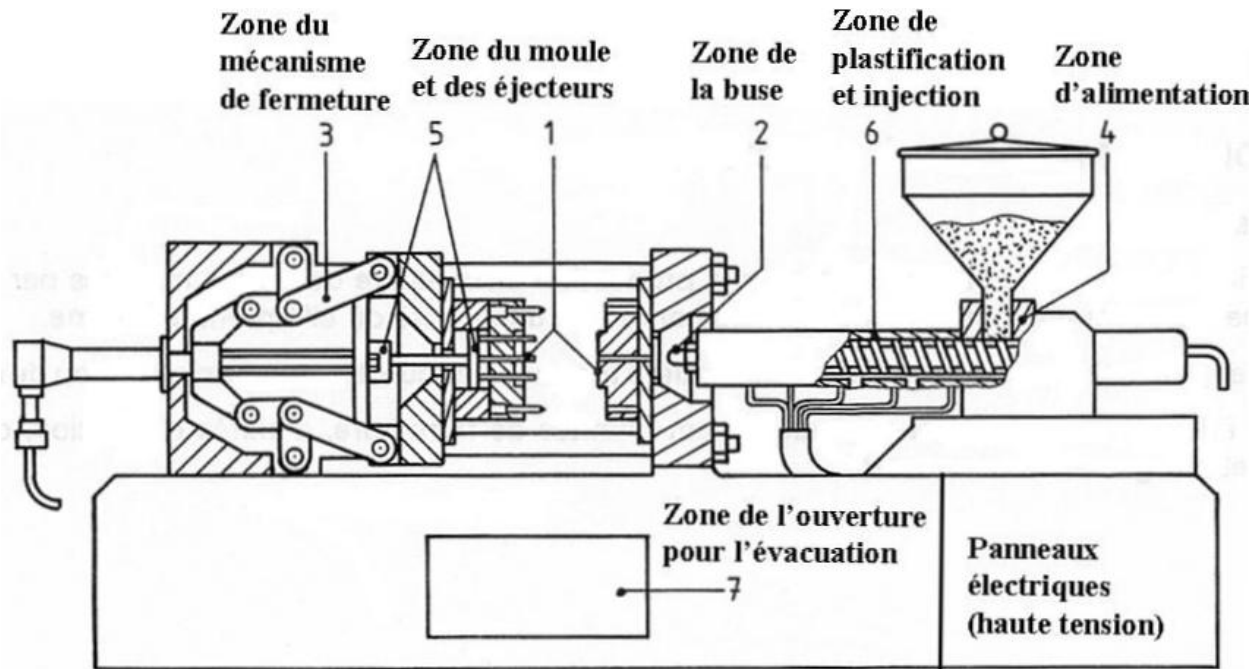


Figure 5: Zones dangereuses de la presse à injection

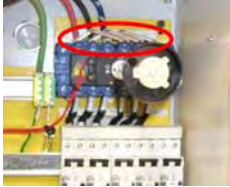
4.3 Énergies dangereuses sur la presse à injection de plastique

L'implantation d'une procédure de cadenassage sur une machine débute par l'identification de toutes les sources d'énergie dangereuses de la machine et dans le voisinage de celle-ci. Ainsi, la présente sous-section décrit toutes les énergies recensées sur la presse et la sous-section 4.4 présente les dispositifs d'isolement des sources d'énergie servant à isoler les énergies dangereuses. Ce travail est issu d'une appréciation du risque menée sur la presse à injection de l'IRSST lors d'une précédente étude. Les détails de cette appréciation du risque sont présentés dans le rapport de recherche associé [Chinniah et al., R-557, 2008].

4.3.1 Énergie électrique

Le tableau 2 et la figure 6 décrivent l'énergie électrique présente sur la presse à injection de l'IRSST.


Tableau 2: Description de l'énergie électrique sur la presse à injection

Type d'énergie	Localisation/Composants	Tensions maximales	Dommages possibles	Illustration
Électrique - basse tension triphasée	Moteur électrique entraînant la pompe hydraulique	280 V	Électrocution, électrisation	 <p>Figure 6: Panneau électrique haute-tension</p>
	Alimentation du circuit basse tension			
	Alimentation des ventilateurs haute tension			
	Alimentation des contacteurs moteurs			
	Alimentation des cylindres chauffants			
Électrique - très basse tension	Alimentation des ventilateurs basse tension	24 V		
	Circuit de sécurité (à base de relais à contacts guidés)			
	Pilotage des vannes, capteurs			
	Affichage à cristaux liquides			
	Cartes électroniques			

4.3.2 Énergie hydraulique

Le tableau 3 et la figure 7 décrivent l'énergie hydraulique présente sur la presse de l'IRSST.

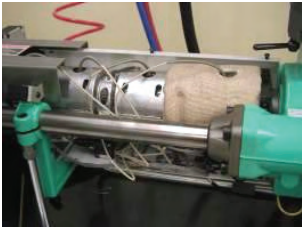
Tableau 3: Description de l'énergie hydraulique sur la presse à injection

Type d'énergie	Localisation/Composants	Pression maximale	Dommages possibles	Illustration
Hydraulique	Pompe	260 bars (26 MPa)	Contusion, fracture. (rupture de flexible)	 <p>Figure 7: Moteur hydraulique alimentant la vis sans fin</p>
	Distributeurs			
	Vérins		Nécrose, brûlure, irritation, blessure grave à l'œil. (huile sous pression et haute température)	
	Circuit d'eau froide			
	Échangeur			
	Filtres			

4.3.3 Énergie thermique

Le tableau 4 et la figure 8 décrivent l'énergie thermique présente sur la presse de l'IRSST.


Tableau 4: Description de l'énergie thermique sur la presse à injection

Type d'énergie	Localisation	Température maximale	Dommage possible	Illustration
Thermique	Cylindre de plastification	350 °C	Brûlures	 <p>Figure 8: Éléments chauffants (cylindre de plastification)</p>
	Circuit d'huile chaude			
	Circuit d'eau chaude			
	Plastique fondu			
	Buse			

4.3.4 Énergie mécanique

Le tableau 5 et la figure 9 décrivent l'énergie mécanique présente sur la presse de l'IRSST.

Tableau 5: Description de l'énergie mécanique sur la presse à injection

Type d'énergie	Localisation	Valeurs maximales	Dommages possibles	Illustration
Mécanique	Vis	35 m/min	Coupure, sectionnement, écrasement, fracture, décès	 <p>Figure 9: Mécanisme de fermeture</p>
	Genouillère			
	Moule	350 kN		
	Unité d'injection	50 kN		
	Éjecteurs	24 kN		

4.4 Dispositifs d'isolement des sources d'énergie

Lors du cadénassage, les énergies dangereuses décrites dans la sous-section 4.3 doivent être 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 par la suite.

Présentement, la presse à injection de plastique de l'IRSST possède deux dispositifs d'isolement des sources d'énergie :

- Le sectionneur à fusibles principal, illustré à la figure 10, qui coupe l'alimentation en énergie électrique de la machine;
- La vanne d'eau, illustrée à la figure 11, qui coupe l'alimentation en eau.



Figure 10: Sectionneur à fusibles principal



Figure 11: Vanne d'eau

4.5 Procédure de cadenassage appliquée à la presse à injection de plastique

Au cours de l'étude exploratoire, des procédures de cadenassage ont été développées pour la presse à injection de l'IRSST. Ainsi, deux exemples de fiches de cadenassage pour des opérations de changement de moule et de nettoyage de la buse sont présentés à l'annexe A. Une visite industrielle a été mise à contribution afin de faciliter la rédaction de ces fiches de cadenassage. Dans la partie qui suit, nous détaillerons cinq étapes importantes dans une procédure de cadenassage c'est-à-dire l'arrêt, l'isolation, la condamnation, la dissipation et la vérification [CSA Z460-05, 2008].

4.5.1 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 et illustrée à la figure 14.

4.5.2 Isolation

Les points d'isolation choisis pour la presse sont présentés au tableau 6. L'étape d'isolation s'effectue en abaissant la manette du sectionneur à fusibles principal pour ouvrir ses contacts et en fermant la vanne d'eau. L'actionnement manuel du sectionneur à fusibles élimine à elle seule plusieurs sources d'énergie en plus de l'énergie électrique.

Tableau 6: Énergies et points d'isolation

Énergies	Points d'isolation
Électrique	Sectionneur à fusibles
Thermique	Coupure de l'alimentation électrique du système de chauffage à travers le sectionneur à fusibles
Hydraulique : huile sous pression	Coupure de l'alimentation électrique du moteur électrique qui entraîne la pompe hydraulique à travers le sectionneur à fusibles
Eau sous pression	Vanne d'eau
Mécanique	Coupure de l'alimentation électrique du moteur électrique qui entraîne la pompe hydraulique à travers le sectionneur à fusibles (produisant l'arrêt de tous les mouvements linéaires et rotatifs)

4.5.3 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.

Pour la presse à injection, les points de condamnation sont présentés au tableau 7. Le premier cadenas permet de verrouiller le sectionneur à fusibles afin de prévenir une ré-alimentation électrique. Le deuxième cadenas verrouille la vanne d'arrivée d'eau.

Tableau 7: Énergies et points de condamnation

Énergies	Points de condamnation
Électrique, hydraulique, thermique et mécanique	Cadenas sur le sectionneur à fusibles
Eau sous pression	Cadenas sur le couvre-vanne à installer sur la vanne d'eau

4.5.4 Dissipation ou purge

L'étape de dissipation des énergies accumulées implique l'élimination de toutes les énergies potentielles et résiduelles ou l'évacuation des produits dangereux 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 apposant un cadenas).

La purge est parfois requise afin d'assurer la maîtrise des énergies cinétique, potentielle, hydraulique, chimique ou thermique. Toutes les pièces en mouvement doivent être arrêtées et être en équilibre stable, et toutes les sources d'accumulation d'énergie hydraulique doivent être purgées en forçant l'huile vers le réservoir.

Il est à noter que les seules énergies accumulées pour la presse à injection de plastique de l'IRSST sont l'énergie thermique et l'énergie potentielle dans la genouillère. En effet, l'absence d'accumulateur et de condensateur qui emmagasineraient respectivement l'énergie hydraulique et électrique simplifie énormément cette étape.

En ce qui concerne l'énergie thermique, la dissipation de l'énergie se fait naturellement par convection. Pour considérer que cette énergie accumulée est maîtrisée, il faut attendre que la température de la buse soit inférieure à 43°C [Carras, 2005]. L'énergie mécanique potentielle dans la genouillère, existante de par la possibilité de mouvement de vérins sous l'action de leur propre poids, est quant à elle maîtrisée au moyen d'une cale, illustrée à la figure 12. Les limites de ce montage sont détaillées à la sous-section 6.2.2.2.

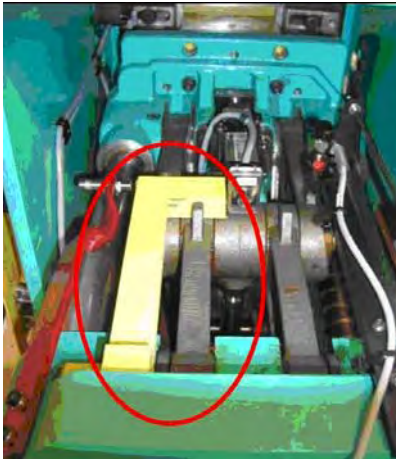


Figure 12: Cale de blocage installée sur la genouillère

4.5.5 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 se trouvant sur le pupitre des commandes illustré à la figure 13.

Pour le test de démarrage de cette étude, le sectionneur à l'extérieur de la boîte à jonction illustré à la figure 14 alimentant les circuits de puissance et de commande de la presse à injection sera mis à contribution. Les raisons techniques de ce choix sont expliquées à la sous-section 6.2.2.1.



Figure 13: Boutons de démarrage et de réarmement identifiés sur le pupitre des commandes

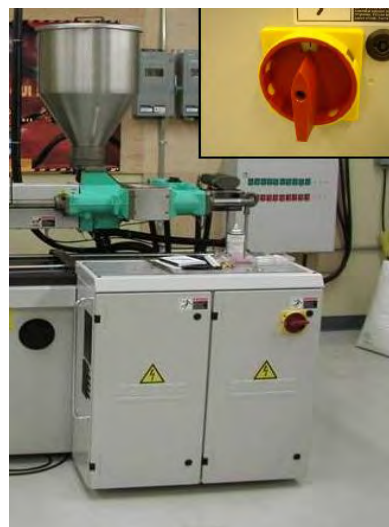


Figure 14: Armoire électrique de la presse et sectionneur de la machine

5. RÉSULTATS - EXIGENCES DE CONCEPTION D'UN OUTIL D'OBSERVATION ET DE SUIVI DES PROCÉDURES DE CADENASSAGE

5.1 Hypothèses de travail

Avant de développer la conception de l'outil d'observation et de suivi, il a fallu considérer plusieurs hypothèses :

- La solution qui sera développée est spécifique à la presse à injection de l'IRSST. Cependant, une version générique pouvant s'adapter à n'importe quel type de machine devra aussi être explorée.
- L'outil permettra d'observer et de suivre la procédure de cadenassage de la presse à injection dont les étapes ont été développées à la sous-section 4.5.
- Dans la présente étude de faisabilité, seule la procédure de mise hors service sera considérée. En effet, la procédure de remise en service ne sera pas développée.
- Les énergies dangereuses présentement ciblées sont : hydraulique, mécanique, électrique et thermique.
- L'outil observera et suivra l'application des procédures de cadenassage d'un travailleur à la fois (des interventions à plusieurs travailleurs ne seront pas considérées dans l'immédiat).
- Le travailleur qui utilisera l'outil devra avoir reçu une formation sur le cadenassage et sur l'utilisation de l'outil d'observation et de suivi du cadenassage.
- Le travailleur devra coopérer pour l'utilisation de l'outil. Il devra systématiquement être d'accord pour l'utiliser et ne pas tenter de le contourner.

5.2 Définition de l'outil

L'analyse du besoin est la première étape vers le développement de la solution. Une recherche bibliographique a permis de mettre en évidence l'absence d'une méthode d'observation et de suivi de la procédure de cadenassage assurant ainsi que cette étude demeure originale. Par contre, des logiciels commerciaux aidant la gestion du cadenassage et permettant, par exemple, de rédiger et imprimer des fiches de cadenassage, de faire l'inventaire des énergies dangereuses, de cibler des dispositifs d'isolement des sources d'énergie et de cadenassage, et de préparer des étiquettes existent sur le marché. Dans un autre registre, des techniques à transfert de clé forçant le travailleur à condamner des dispositifs d'isolement des sources d'énergie pour pouvoir effectuer ses travaux sur la machine sont également disponibles. Cependant, ces techniques ne répondent pas au besoin de l'étude, à savoir, l'observation et le suivi de l'application des procédures de cadenassage.

L'étape suivante a permis de définir les fonctionnalités globales de l'outil et les interactions avec son environnement, en considérant la presse à injection. La représentation de ces fonctions et des interactions avec les éléments de la procédure de cadenassage est illustrée par le schéma

préliminaire présenté à la figure 15. Ce travail a également permis d'envisager un certain nombre de solutions pour la réalisation de l'outil. Le système devra 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 par les personnes chargées des audits de l'application des procédures de cadenassage, ou des chercheurs, tentant d'observer des procédures de cadenassage sur plusieurs quarts de travail.

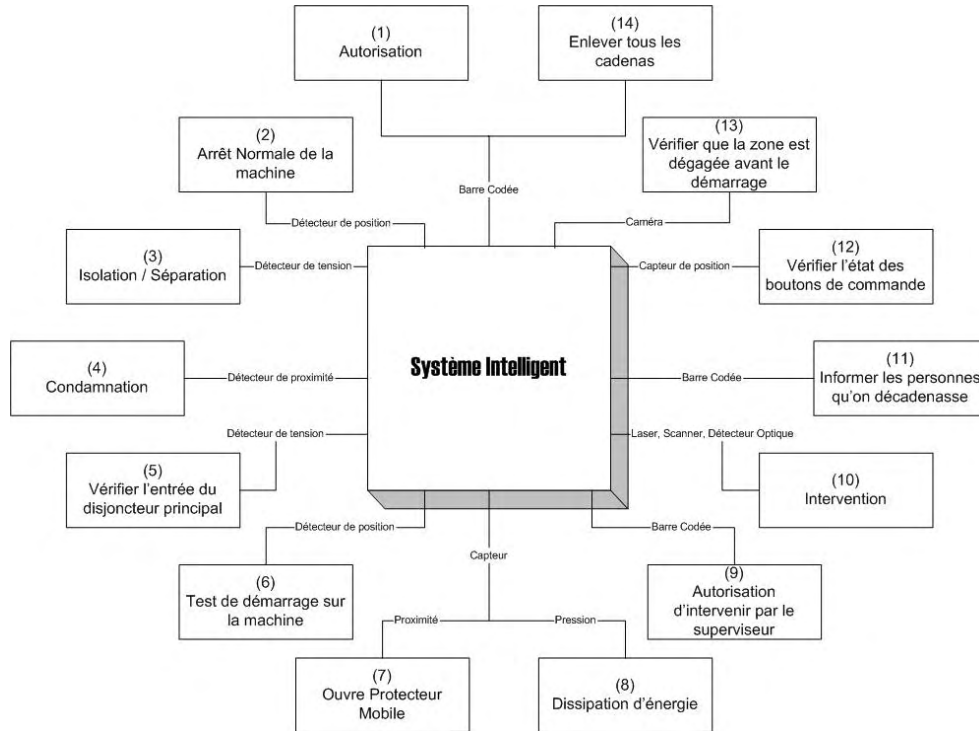


Figure 15: Schématisation des interactions de l'outil d'observation et de suivi avec son environnement

Par la suite, une définition précise a été donnée aux deux fonctions principales de l'outil c'est-à-dire l'observation et le suivi. Ces fonctions sont schématisées à la figure 16. 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 de cadenassage qu'il effectue;
- Comparer la procédure effectuée par le travailleur et la procédure rédigée dans la fiche de cadenassage; et
- Signaler, sous certaines conditions, au travailleur les erreurs commises lors de l'application de la procédure de cadenassage;

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 de l'application des procédures de cadenassage ou les chercheurs.

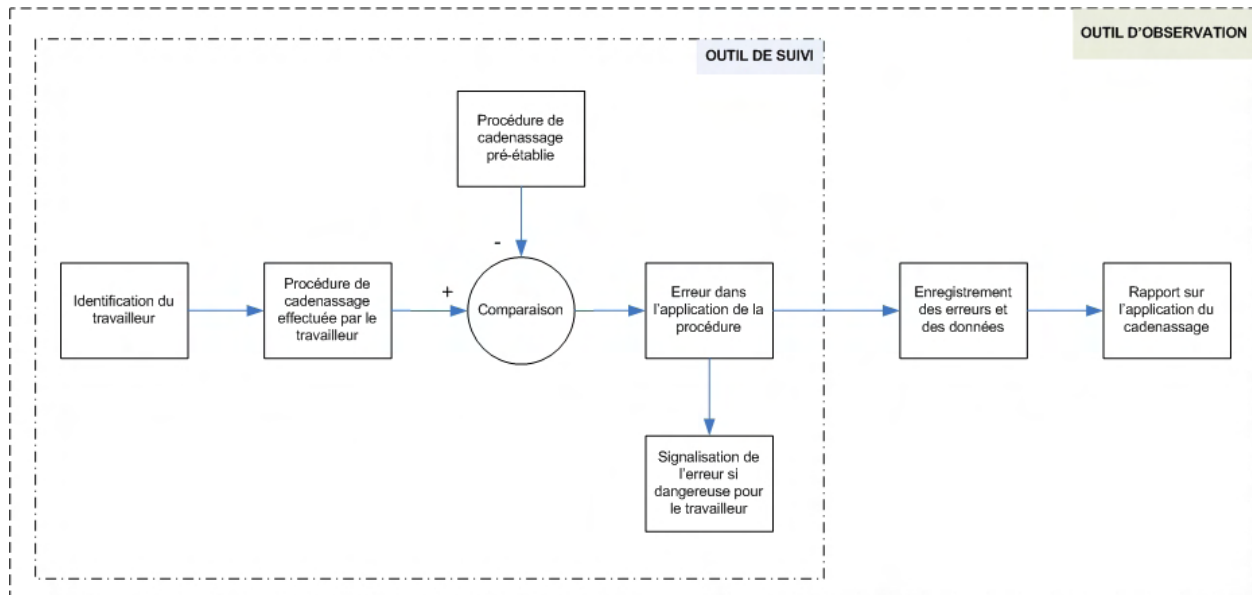


Figure 16: Schématisation des fonctions d'observation et de suivi de l'outil

Plusieurs réunions de groupe créatives ont été effectuées afin de trouver un maximum de solutions réalisables. De nombreuses possibilités ont été discutées au sujet du choix des capteurs et de la disposition de chaque élément sur la machine. Finalement, trois propositions ont été envisagées :

- La première solution proposée a été d'installer des capteurs avec fils sur la machine et de les relier de manière filaire à un outil d'observation et de suivi qui serait sous la forme d'une seule carte électronique. Cette solution n'a pas été retenue, car elle était trop encombrante. De plus, relier l'outil à des fils provenant de plusieurs capteurs installés à des distances qui peuvent être importantes en usine semble peu pratique. Par ailleurs, l'outil ne sera pas mobile et le travailleur aura des difficultés à suivre l'application du cadenassage. En effet, sous cette forme, l'outil nécessiterait le retour du travailleur à un endroit précis après chaque étape de la procédure de cadenassage pour entrer des données. Finalement, l'outil devra être doté d'une architecture complexe pour pouvoir rencontrer les objectifs de suivi et d'observation, rendant sa conception et son développement plus compliqués.
- La deuxième option envisagée a été l'installation sur la presse de capteurs sans fil qui auraient transmis de manière immatérielle les données à leurs systèmes propriétaires. Ces derniers auraient été reliés à une carte électronique principale qui aurait fait le traitement des données reçues. Cette solution s'avérait encombrante (s'il est désiré que la carte principale soit mobile) et très coûteuse.
- La troisième option proposée a été d'utiliser des capteurs avec fils reliés à une carte électronique locale sur la presse. Cette carte se chargerait de la transmission sans fil des

données des capteurs à une deuxième carte mobile que posséderait l'opérateur et à une troisième carte située dans un autre endroit. Cette dernière carte serait reliée à un ordinateur pour l'enregistrement dans une base de données et pour la création d'un rapport servant à l'observation de l'application du cadenassage. Chaque carte serait munie d'un émetteur-récepteur pour assurer la communication sans fil entre les cartes. C'est cette solution qui a été retenue.

5.3 Exigences de conception retenues

5.3.1 Architecture de l'outil

5.3.1.1 Architecture globale

La solution retenue, illustrée à la figure 17, propose l'utilisation des trois cartes électroniques équipées d'émetteurs-récepteurs pour une communication sans fil. La description de chaque carte est donnée dans les points suivants :

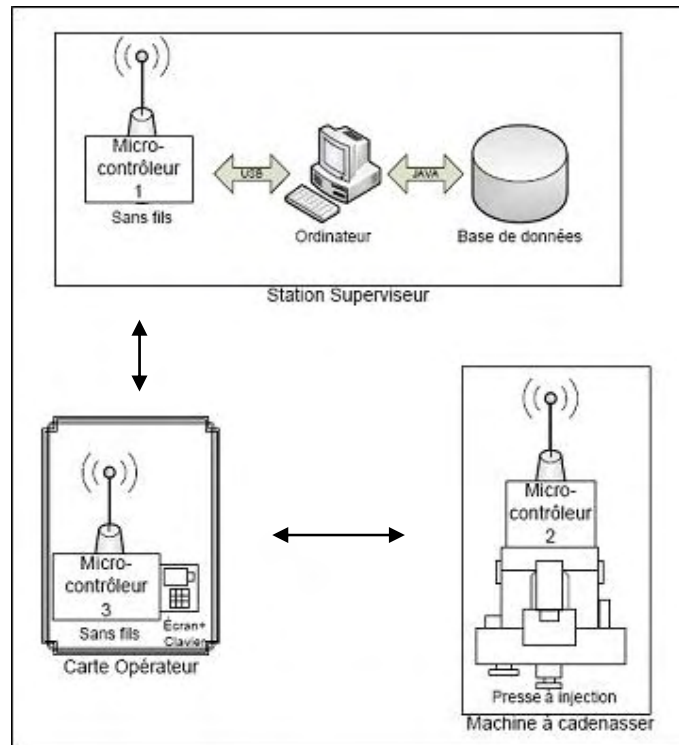


Figure 17: Vue d'ensemble pour la solution retenue

- La carte « machine » est une carte électronique installée et fixée sur la presse à injection qui sert à recueillir les données des capteurs de manière filaire. Elle communique les changements d'état des capteurs à la carte « opérateur ».
- La carte « opérateur » est la carte électronique qui assure le suivi de la procédure de cadenassage. Ainsi, cette carte est mobile, et elle est mise à disposition du travailleur

effectuant une procédure de cadenassage. Équipée d'un écran et d'un clavier, elle 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 cadenassage à réaliser. Le travailleur peut aussi se fier à la fiche conventionnelle de cadenassage et indiquer à l'étape à laquelle il est rendu. Lors de la procédure de cadenassage, si le travailleur commet une erreur pouvant porter atteinte à sa sécurité, la carte « opérateur » l'avertit. Cette carte reçoit les données de la carte « machine » pour calculer si une erreur s'est produite dans la procédure 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 carte « superviseur » est intégrée dans une station « superviseur » 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). On utilise l'ordinateur comme support pour l'enregistrement des données envoyées par la carte « opérateur », mais aussi comme base de données pour l'identification des travailleurs, les mots de passe, les différentes procédures de cadenassage type, etc. La carte superviseur communique les informations de la base de données, comme par exemple la procédure type à appliquer, à la carte « opérateur ». L'association entre la carte « superviseur » et l'ordinateur permet également la création de rapports aidant l'audit et l'observation des procédures de cadenassage.

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 aux solutions envisagées avec une seule carte. Dans cette solution, chaque carte représente un module séparé qu'il est possible de développer indépendamment.
- Les capteurs seront reliés à la carte « machine » de manière filaire. Comparativement à la solution avec les capteurs à communication sans fil intégrée, les capteurs seront de petites tailles, plus abordables financièrement et facilement transposables en industrie. De plus, les capteurs filaires ne dérangeront pas le fonctionnement normal de la machine et seront moins sensibles aux interférences.
- Le choix d'une carte « machine » installée sur la presse, qui possède la capacité de transmettre et de recevoir les données de manière sans fil, permet une meilleure intégration de l'outil en industrie. En effet, tout le travail d'installation se fera uniquement sur la machine sans modifier la zone 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.
- En développant une application dynamique sur l'ordinateur, couplé à la carte « superviseur », l'outil fournira la possibilité de construire une base de données pour les informations telles

que le nom, le prénom, la permission, les travaux effectués, etc. De plus, l'observation de l'application des procédures de cadenassage par le superviseur pourra se faire à distance.

- La procédure de cadenassage donnée par la carte « opérateur » au travailleur sera adaptée à la tâche à effectuer. Pour cela, chaque procédure sera développée dans un programme sur l'ordinateur, et sera par la suite téléchargée sur la carte « opérateur ».

5.3.1.2 Matériel retenu

Une fois l'architecture globale de l'outil établie, le matériel pour mettre en œuvre cette solution a été acquis. Les choix effectués pour les cartes électroniques et les microcontrôleurs associés sont justifiés dans les explications qui suivent. La liste des capteurs installés sur la presse à injection et sur d'autres éléments est également présentée. Il est à noter que la justification des choix des capteurs est détaillée à la sous-section 5.3.2. Tous les branchements nécessaires pour le fonctionnement des cartes et des capteurs sont illustrés en annexe B.

- Microcontrôleurs.

Dans cette étude, deux types de microcontrôleurs ont été retenus (i) le PIC18F4550 et, (ii) le dsPIC30F4011. Le microcontrôleur PIC18F4550 a été choisi pour sa capacité de communiquer avec un ordinateur à travers l'USB. Cette fonctionnalité est essentielle pour la carte « superviseur » afin de valider les utilisateurs et générer des rapports de cadenassage. Le microcontrôleur dsPIC30F4011 a lui été choisi pour sa rapidité d'exécution, jusqu'à 30 millions d'instructions par seconde, mais aussi parce qu'il possède un nombre suffisant de ports pour capter et envoyer les signaux (30 pins).

- Carte Machine.

Cette carte, illustrée à la figure 18, est reliée aux capteurs installés sur la presse à injection, aux dispositifs d'isolement des sources d'énergie et aux dispositifs de cadenassage utilisés lors de la procédure. Elle est en charge de la transmission des états des signaux provenant des capteurs. Elle est équipée de plusieurs composantes électriques, électroniques et électroniques programmables, notamment :

- Un microcontrôleur dsPIC30F4011;
- Un émetteur-récepteur MiRF v2 - nRF24L01 Module RP-SMA;
- Une batterie 12V;
- Un régulateur de tension 5 volts MCC7805CT pour l'alimentation de la carte;
- Sept régulateurs de tension qui abaissent la tension des capteurs (24V) à la tension permise par le microcontrôleur (5V);
- Un régulateur de tension variable LM317 T;
- Un potentiomètre 2101 P 20K;
- Un écran LCD pour vérification et affichage des états;
- Des résistances, des condensateurs, interrupteurs, dissipateurs de chaleur et des câbles électriques.

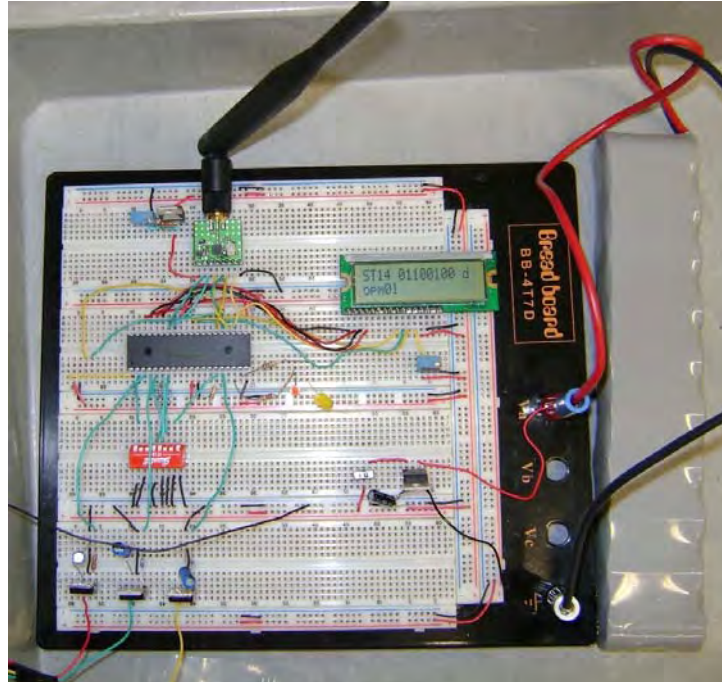


Figure 18: Carte machine

- Carte Opérateur.

Le premier attrait de cette carte, dont le prototype est illustré à la figure 19, demeure sa mobilité et le travailleur l'aura en sa possession tout au long de la procédure de cadenassage. L'intervenant sur la machine l'utilisera pour s'identifier, prendre connaissance des messages d'erreurs commises lors de l'application de la procédure de cadenassage et suivre les étapes du cadenassage. Pour se faire, elle est équipée de plusieurs composants électriques, électroniques et électroniques programmables, notamment :

- Un microcontrôleur dsPIC30F4011;
- Un écran LCD LCM-S04004DSF;
- Un émetteur-récepteur MiRF v2 - nRF24L01 Module RP-SMA;
- Un clavier matriciel 4x4 pour que l'opérateur rentre ses informations;
- Une batterie 12V;
- Un régulateur de tension 5 volts MCC7805CT;
- Un régulateur de tension variable LM317 T;
- Un potentiomètre 2101 P 20K;
- Des résistances, des condensateurs, interrupteurs, dissipateurs de chaleur et des câbles électriques.

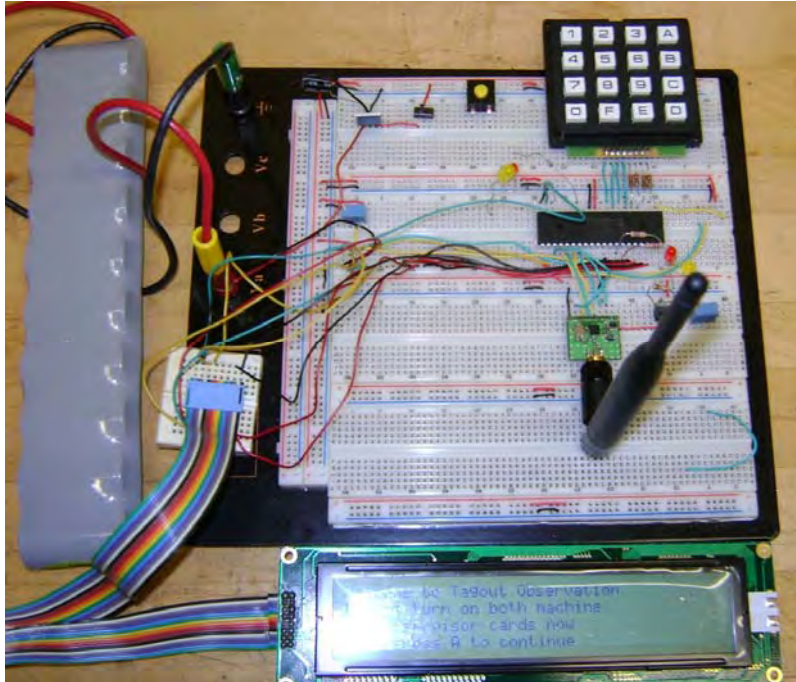


Figure 19: Carte opérateur

- Carte Superviseur

Le rôle principal de cette carte, illustrée à la figure 20, est de valider les noms d'utilisateurs et les mots de passe tout en communiquant en continu avec un ordinateur afin d'enregistrer les données et de créer les rapports de cadenassage. Ces rapports serviront à observer les procédures de cadenassage, à auditer l'application de ces procédures et à enregistrer les procédures de cadenassage sur plusieurs quarts de travail. Pour se faire, elle est équipée de plusieurs composants électriques, électroniques et électroniques programmables :

- Un microcontrôleur PIC18F4550;
- Un émetteur-récepteur MiRF v2 - nRF24L01 Module RP-SMA;
- Une batterie 12V;
- Une entrée et un câble USB;
- Un régulateur de tension 5 volts MCC7805CT;
- Un régulateur de tension variable LM317 T;
- Un potentiomètre 2101 P 20K;
- Un écran LCD pour affichage des états;
- Des résistances, des condensateurs, interrupteurs, dissipateurs de chaleur et des câbles électriques.

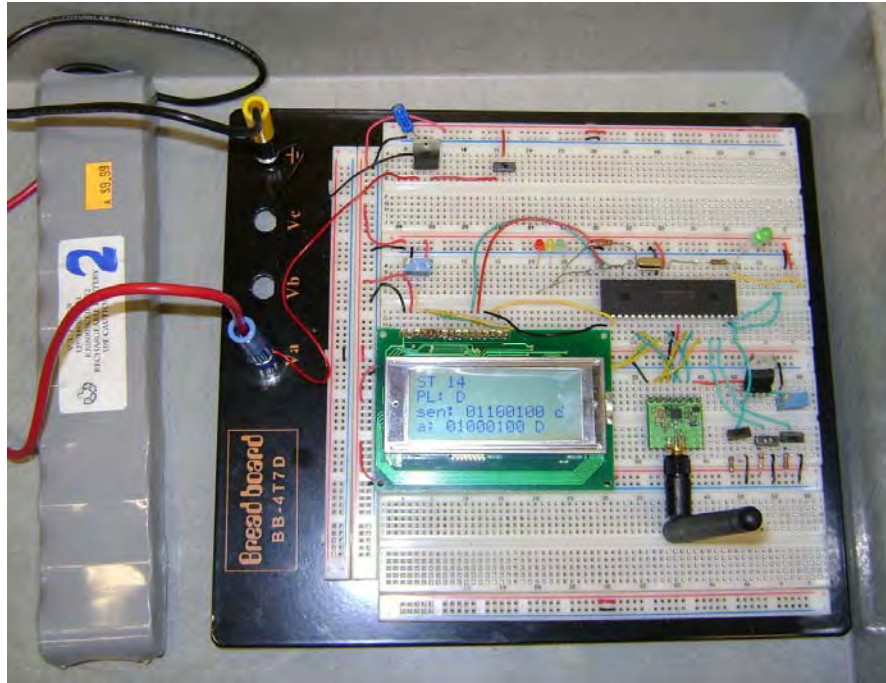


Figure 20: Carte superviseur

- Capteurs installés sur la presse à injection (détaillés dans la section 5.3.2)
 - Un vérificateur de tension pour mesurer l'absence ou la présence de l'énergie électrique;
 - Un capteur de pression pour mesurer l'absence ou la présence l'énergie hydraulique;
 - Deux capteurs de proximité pour détecter la fermeture de la vanne d'eau et la présence d'une cale conçue afin de bloquer l'énergie mécanique associée au mécanisme de fermeture du moule de la machine;
 - Une sonde de température pour mesurer la température (résiduelle) de la buse et des éléments chauffants;
 - Un potentiomètre pour mesurer la position du sectionneur local de la presse à injection;
 - Un cadenas électronique qui indique si le cadenas est en position verrouillé ou non.

5.3.2 Mesurer les changements d'état lors de la procédure de cadenassage

Tel que mentionné au début de l'étude, un des objectifs fixés à l'outil d'observation et de suivi était de pouvoir mesurer les changements d'état des éléments concernés lors de l'application de la procédure de cadenassage sur la presse à injection de plastique.

La carte chargée de remplir cet objectif est la carte « machine ». Elle lit les états des capteurs et transmet les données à la carte « opérateur » par communication sans fil.

En se basant sur les étapes d'une procédure de cadenassage 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. Les spécifications de l'outil pour réaliser ces mesures sont détaillées dans les sous-sections suivantes.

5.3.2.1 Fonctionnement

Pour effectuer la mesure des changements d'état, l'acquisition de données provenant des capteurs doit se faire plusieurs fois par seconde. Cette fonction de vérification utilise une minuterie ou « timer » permettant au système de mesurer des durées. Le « timer » sera configuré pour faire 20 interruptions par seconde et la vérification des états des capteurs se fera à chaque fois qu'il y aura une interruption. La figure C.1 en annexe donne les organigrammes techniques pour effectuer cette tâche.

5.3.2.2 Mesurer l'arrêt de la presse

Lors de la procédure de cadenassage, l'arrêt de la presse est la première étape réalisée par le travailleur. La configuration de la presse à injection nous offre plusieurs options pour accomplir cette tâche, comme par exemple appuyer sur le bouton OFF, enclencher le bouton d'arrêt d'urgence ou encore actionner le sectionneur de la presse.

La solution retenue se base sur l'utilisation du sectionneur du panneau électrique de la presse. On mesure à l'aide d'un potentiomètre rotatif, illustré à la figure 21, la position du sectionneur. 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. Lors d'une procédure d'arrêt normale, le travailleur arrête la machine en appuyant sur le bouton de commande mettant hors tension le moteur électrique entraînant la pompe hydraulique avant d'actionner le sectionneur de la presse. Les boutons de commande tactiles qui sont interfacés au système modulaire à multiprocesseur graphique (SELOGICA) [Arburg, 2008] sont difficilement accessibles, d'où la pertinence de mesurer l'ouverture du sectionneur de la machine.



Figure 21: Potentiomètre rotatif intégré au sectionneur de la presse à injection

5.3.2.3 Mesurer l'isolement

Après l'arrêt de la presse, l'étape logique qui suit est l'étape d'isolement. Pour la presse à injection, l'étape d'isolement se compose de l'actionnement du sectionneur à fusibles principal et de la vanne d'eau, comme il est expliqué à la sous-section 4.4. Le but pour l'outil d'observation et de suivi est de mesurer si l'isolation a été réellement effectuée, c'est dire que la presse n'est plus alimentée en énergie électrique et en eau.

- Mesurer l'isolement en énergie électrique

Pour mesurer 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. Ce dispositif, qui présente des caractéristiques de sécurité élevées, est illustré à la figure 22.

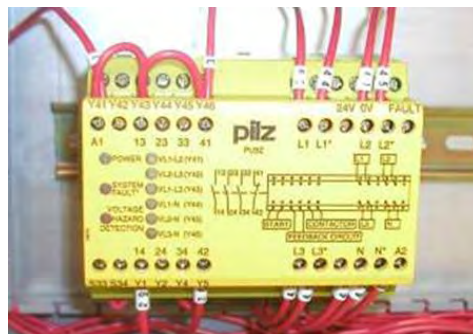


Figure 22: Vérificateur de tension Pilz

- Mesurer l'isolement du circuit d'eau

Le deuxième dispositif d'isolement à actionner lors de cette étape du cadenassage est la vanne qui coupe l'alimentation en eau servant à refroidir le moule et l'huile hydraulique. Pour mesurer cette étape d'isolement, 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.

D'un point de vue technique, les capteurs inductifs détectent les matériaux ferromagnétiques. La réluctance du circuit magnétique change lorsqu'un objet ferromagnétique approche de la face sensible. Cependant, ils ont une étendue de mesure de l'ordre de dizaine de millimètres. Le capteur inductif utilisé pour la vanne d'eau est le modèle Turck aprox BI3U-M12-AP6X, illustrés aux figures 23 et 24 et détaillé en annexe D.

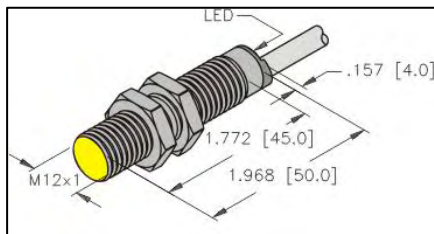


Figure 23: Capteur de proximité pour vanne d'eau



Figure 24: Installation du capteur de proximité (jaune)

Il faut noter que cette solution n'est pas définitive et sera améliorée à l'avenir (possibilités de neutralisation et la fiabilité de l'information). Cette solution fait partie des limites de l'étude énoncées à la sous-section 6.2.

5.3.2.4 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, illustré à la figure 25. 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. Lorsque le dispositif d'isolement est en position d'isolation, la partie mobile s'emboîte dans la partie fixe et le cadenas se verrouille par l'actionnement manuel d'un interrupteur.

Comme le cadenas électronique est alimenté par une tension de 24V, lorsque le cadenas est verrouillé, le signal de sortie donne 24 V, et lorsqu'il ne l'est pas, le signal est à 0V. Ce système est donc utilisé pour mesurer et valider la condamnation du sectionneur à fusibles et de la vanne d'eau.



Figure 25: Cadenas électronique installé sur le sectionneur à fusibles

5.3.2.5 Mesurer la dissipation des énergies accumulées

Une fois les dispositifs d'isolement des sources d'énergie condamnés, il faut s'assurer que les énergies résiduelles sont dissipées. Comme il est indiqué à la sous-section 4.5.4, les énergies résiduelles sont l'énergie thermique et l'énergie potentielle mécanique dans la genouillère. À cette étape, même s'il n'y a pas d'énergie hydraulique accumulée dans la presse à injection, la pression dans le circuit hydraulique sera mesurée, car ce type d'information est très pertinent pour les machines hydrauliques en milieu industriel.

- Mesure de la dissipation de l'énergie thermique

L'énergie thermique est dissipée lorsque la température des éléments chauffants s'abaisse en dessous de 43 °C.

La buse et les cylindres de plastification sont les éléments de la presse à injection qui possèdent les températures opérationnelles les plus élevées et le capteur de température a été installé à proximité de ces deux éléments.

Le choix du capteur de température s'est porté sur une sonde de température : un capteur basé sur la résistivité des matériaux. La résistance électrique des matériaux conducteurs change en fonction de la température et c'est le changement de résistivité qu'on mesure pour obtenir la température.

Les contraintes qui s'appliquent pour le choix du capteur sont un environnement pouvant atteindre au maximum 350 °C et ses dimensions. Ainsi, le capteur choisi et installé est un « Temperature Switch » de Stancor illustré à la figure 26. Il s'agit d'un capteur passif qui change de résistivité lorsque sa température dépasse une certaine valeur. Son changement d'état a été réglé et testé pour 43 °C. 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 ».

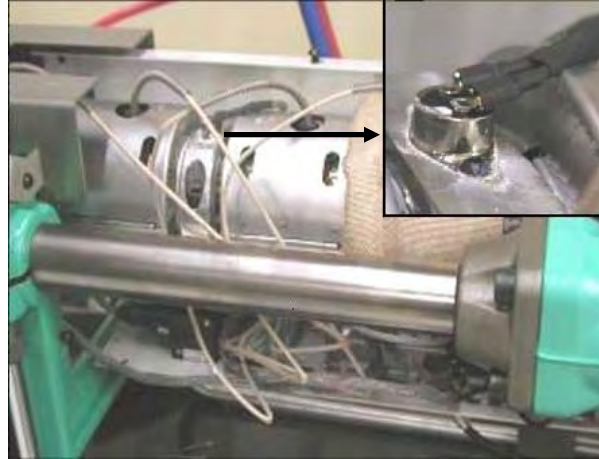


Figure 26: Capteur de température installé sur la presse

- Mesurer la dissipation de l'énergie potentielle

Lorsque la presse à injection est arrêtée, certaines pièces mécaniques emmagasinent de l'énergie potentielle, par exemple les vérins hydrauliques de la genouillère qui pourraient bouger sous l'effet de leur propre poids. 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. Lorsque la cale est mise en position et tant qu'elle le reste, le capteur inductif, illustré à la figure 27, détecte sa présence et envoie l'information à la carte « 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. Par ailleurs, le montage de la cale devra être amélioré en suivant les recommandations exprimées à la sous-section 6.2.2.2 (ex. la rendre cadenassable et mieux contrôler son positionnement).

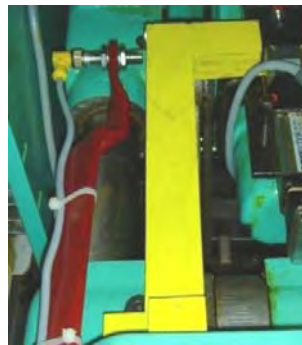


Figure 27: Installation du capteur de proximité et de la cale

- Mesurer l'énergie hydraulique

Finalement, 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 », il est illustré aux figures 28 et 29. Ce capteur indique sur

un écran numérique la valeur de la pression dans le circuit hydraulique de la machine. Il donne ainsi l'information « présence/absence » de pression dans le circuit hydraulique de la machine et envoie en conséquence une tension de 24 V qui sera utilisée par la carte électronique « machine » pour confirmer, à cette étape, l'absence d'énergie hydraulique.



Figure 28: Capteur de pression hydraulique

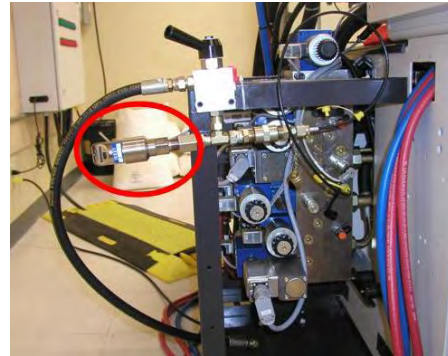


Figure 29: Capteur de pression sur le circuit hydraulique de la presse à injection

5.3.2.6 Mesurer l'étape de vérification dans la procédure de cadenassage

L'étape de vérification permet de s'assurer que la machine est dans un état sécuritaire. Cette étape se matérialise souvent par un test de démarrage.

Comme il a été expliqué à la sous-section 4.5.5, la solution choisie pour effectuer cette étape est d'utiliser le sectionneur du panneau électrique de la presse à injection. Le sectionneur local situé sur la presse est mis en position ON, ensuite le travailleur vérifie l'absence d'énergie (la presse ne démarre pas) en appuyant sur le bouton de démarrage, avant de presser sur le bouton d'arrêt et par la suite repositionner le sectionneur sur OFF.

Le principe technique pour mesurer cette étape est le même que pour l'arrêt de la machine à la sous-section 5.3.2.2. On mesure la position du sectionneur. 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.

5.3.3 Assurer le suivi

Avec les spécifications énoncées à la section 5.3.2, l'outil d'observation et de suivi des procédures de cadenassage rencontrera un objectif, celui de mesurer les divers éléments qui interviennent dans une procédure de cadenassage. Le deuxième objectif énoncé pour l'outil est d'assurer le suivi de la procédure auprès du travailleur. Cet objectif, en se basant sur l'architecture de l'outil, sera réalisé par la carte « opérateur ». Cet objectif 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. Ces fonctionnalités sont développées plus en détail dans les sous-sections qui suivent.

5.3.3.1 Authentification du travailleur

Avant de commencer la procédure de cadenassage, le travailleur devra s'identifier avec son nom et son mot de passe à l'aide du clavier de la carte « opérateur ». La figure C.2 en annexe donne l'organigramme de cette étape. Une fois ces informations saisies, leur validation s'effectue au niveau de la carte « superviseur ». La figure C.3 en annexe présente les organigrammes techniques pour effectuer l'authentification du travailleur.

Concrètement, la carte « opérateur » affiche à l'utilisateur d'entrer son mot de passe et son nom d'utilisateur. Il devra appuyer sur « E » pour corriger son entrée et sur « F » à chaque fois qu'une information est complétée. Ainsi, le mot de passe ne devra contenir ni « E », ni « F ».

D'autres informations comme « le travail à accomplir » pourront être rajoutées par la suite 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.

5.3.3.2 Afficher la procédure de cadenassage

Une des fonctions de la carte « opérateur » est d'afficher les étapes de la procédure de cadenassage à réaliser. Les étapes qui apparaîtront sur l'écran LCD de la carte pour guider le travailleur sont résumées à la figure C.4 en annexe. La séquence des étapes de la procédure de cadenassage est d'une grande importance. Si le travailleur inverse deux étapes, cela sera considéré comme une erreur. La gestion des erreurs et des interruptions est expliquée dans la prochaine sous-section.

5.3.3.3 Gestion des interruptions

Toutes les erreurs dans la procédure de cadenassage (ex. séquence, omission d'une étape...) seront enregistrées par la carte superviseur. Cependant, il a été choisi de ne prévenir le travailleur de son erreur que lorsqu'elle pourrait avoir des conséquences pour sa sécurité et sa santé. Les raisons de ce choix, visant à faire le minimum d'interventions lors de l'observation, sont expliquées à la sous-section 6.2.4. Pour effectuer la programmation logicielle, la méthode suivante a été appliquée :

Premièrement, chaque opération ou élément est représenté par une lettre comme l'illustre le tableau 9.

Tableau 8: Représentation des opérations par lettre

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

Ensuite, des séquences logiques telles que décrites dans le tableau 9 ont été définies pour s’assurer d’une procédure de cadenassage sécuritaire pour le travailleur.

Tableau 9: Séquence logique des opérations de cadenassage du point de vue de la sécurité directe du travailleur

	Opération effectuée par le travailleur	L’opération doit être après	L’opération doit être 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 électronique 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, survient après que la machine soit arrêtée (A) et que le sectionneur à fusibles soit 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 dans l’ordre de sa procédure, mais il ne commet pas d’erreur qui porte atteinte à sa santé et sa sécurité. Ainsi, cette erreur sera enregistrée, mais ne lui sera pas signalée.

La carte « opérateur » assure donc son rôle de suivi, en guidant le travailleur lors de sa procédure de cadenassage. Néanmoins, la méthode utilisée laisse une certaine flexibilité pour que l’outil ne soit pas uniquement un outil de suivi, mais aussi un outil d’observation.

5.3.4 Enregistrer et évaluer

Le troisième objectif à rencontrer est l’enregistrement et l’évaluation des procédures de cadenassage réalisées par le travailleur.

La fonctionnalité « enregistrement » est réalisée par la carte superviseur et l'ordinateur qui (i) enregistrent et valident l'identification du travailleur par l'intermédiaire de la carte « opérateur », (ii) enregistrent la procédure réalisée par le travailleur, via la carte « opérateur », à l'aide des données de la carte « machine », et (iii) enregistrent 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.

Afin d'atteindre cet objectif, la carte « superviseur » est reliée par une liaison USB avec un ordinateur qui a la capacité de stocker les données. Il valide ces données à l'aide d'un logiciel de programmation orienté objet, développé sous la plate-forme Java Enterprise Edition (JEE), nommé pour cette étude « Système de Suivi des Procédures de Cadenassage » ou « SSPC ».

Cette section est organisée en deux parties :

- « Analyse et spécifications » qui s'attarde sur l'analyse des besoins et des fonctionnalités attendues du système par rapport à l'enregistrement et l'évaluation des données; et
- « Programmation logicielle et réalisations » qui explique les choix technologiques et offre un aperçu des interfaces du système.

5.3.4.1 Analyse et spécifications techniques pour l'enregistrement et l'évaluation

1) Analyse du besoin générale

Avant de lister les fonctionnalités attendues du système concernant l'enregistrement et l'évaluation des données, il est important de cerner les acteurs qui vont l'utiliser. Un acteur est défini comme une entité humaine, logicielle ou matérielle qui interagit avec le système. Les acteurs identifiés qui interagissent avec l'outil lors de cette étude sont des acteurs humains. Il s'agit de :

- L'administrateur dont le rôle est la gestion des comptes utilisateurs sur la plate-forme « SSPC »;
- Le superviseur qui génère et exporte les rapports de suivi à partir de la plate-forme « SSPC »;
- Le travailleur qui effectue le cadenassage.

De ce fait, les fonctionnalités attendues du système sont :

- La gestion des comptes utilisateurs : création et mise à jour des comptes utilisateurs pour les opérateurs de cadenassage et les utilisateurs du système. Par mise à jour, on entend modification, suppression, et réinitialisation des comptes et des mots de passe;
- La génération des rapports de suivi : création et export de rapports sur la base des informations transmises au système durant les opérations de cadenassage. Ces rapports comprennent notamment le nom de l'opération, son état de terminaison, les déclarations des

erreurs, la personne qui l'a effectuée, la date et heure. L'organigramme de génération d'un rapport est illustré à la figure C.5 en annexe.

2) Analyse du besoin détaillée

- Diagramme d'utilisation global du système

Le but du diagramme d'utilisation est de schématiser les interactions entre les acteurs et les fonctionnalités remplies par le système. Chaque cas d'utilisation représente un appel d'un acteur à une fonctionnalité du système. Le diagramme d'utilisation pour les fonctions d'identification du travailleur et d'enregistrement est illustré à la figure 30. Les fonctionnalités remplies par l'administrateur sont contenues dans le « package administration » et celles assurées par le superviseur dans le « package suivi des procédures de cadenassage ».

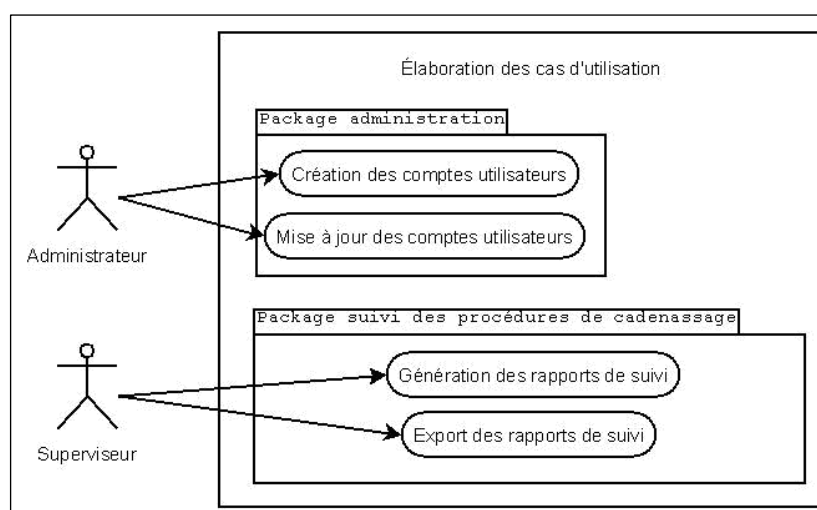


Figure 30: Diagramme de cas d'utilisation globale du système

- Description des cas d'utilisation

Le cas d'utilisation « création des comptes utilisateurs » a été pris en exemple au tableau 10. Le scénario développé décrit étape par étape les actions à réaliser pour créer un compte utilisateur.

Un scénario a été développé pour chaque cas d'utilisation. Il est à noter que ces scénarii englobent toute la logique qui servira par la suite à la programmation.

Tableau 10: Cas d'utilisation, « création des comptes utilisateurs »

Cas : Création des comptes utilisateurs
But : Créer un nouvel utilisateur
Acteur : Administrateur
Préalables : L'administrateur est authentifié
Postconditions : Les paramètres du nouveau compte créé sont imprimés

Scénario principal
<ol style="list-style-type: none"> 1. Le cas d'utilisation commence quand l'administrateur accède au « SSPC » après s'être authentifié 2. Le système affiche la liste des utilisateurs actifs ainsi que les fonctionnalités offertes : <ul style="list-style-type: none"> – Ajouter un utilisateur – Modifier un utilisateur – Supprimer un utilisateur – Réinitialiser le mot de passe 3. L'administrateur choisit la fonctionnalité : ajouter un utilisateur 4. L'administrateur remplit le formulaire de création d'un nouvel utilisateur; il renseigne notamment le nom d'utilisateur, le nom et prénom, l'adresse courriel et le profil (administrateur, opérateur, superviseur) 5. L'administrateur clique sur « sauvegarder » 6. L'administrateur clique sur « imprimer » pour imprimer les paramètres du nouveau compte avec le mot de passe généré automatiquement par le système 7. L'administrateur revient à la page qui liste tous les utilisateurs. 8. Le cas d'utilisation est terminé avec succès.
Scénarios alternatifs
<ol style="list-style-type: none"> 1. Si à l'étape 5 du scénario principal, l'administrateur essaye de sauvegarder : <ul style="list-style-type: none"> – Un nom d'utilisateur qui n'est pas dans l'intervalle [0-9; A-D] qui correspond aux touches du clavier attaché à la carte sans fil – Un nom, prénom ou adresse courriel qui ne sont pas bien formés <p>Le système affiche un ou des messages d'erreur et revient à l'étape 4 du scénario principal</p> 2. Si à l'étape 5 du scénario principal, l'administrateur clique sur « annuler », plutôt que sur « sauvegarder », le système tombe dans l'étape 7 du scénario principal.

3) Spécifications techniques pour l'enregistrement et l'évaluation

Après avoir listé explicitement les acteurs du système, ainsi que les différentes fonctionnalités qu'ils effectuent, l'étape suivante consiste à modéliser tous les scénarii sous la forme d'un diagramme qui va structurer la programmation. Ce diagramme technique qui est appelé

diagramme de classes est défini comme étant la collection d'éléments modélisant la structure de la programmation du système en faisant abstraction des aspects dynamiques et temporels. Il est disponible en annexe à la figure D.1.

5.3.4.2 Architecture et développement logiciel de la plate-forme pour l'enregistrement et l'évaluation

1) Architecture logicielle générale

D'un point de vue matériel, le choix de la plate-forme JEE est motivé par le fait qu'il s'agit d' :

- Une architecture multi-niveaux;
- Une architecture s'appêtant à être séparée en plusieurs couches logiques, réduisant ainsi les dépendances et les efforts de maintenance et permettant la réutilisation des composants;
- Un environnement Open Source (accès libre au code source);
- Un environnement permettant une intégration facile avec d'autres systèmes via des interfaces de programmation standards.

L'architecture détaillée du logiciel est expliquée en annexe à la figure D.2.

2) Développement logiciel de la plate-forme SSCP

Cette sous-section contient la réalisation et le prototypage des packages « administration » et « suivi des procédures de cadénassage », présentés à la sous-section 5.3.4.1.2, qui assurent respectivement l'administration des identifications et la gestion des rapports.

- « Package administration »

La figure 31 représente la page d'accueil du « Système de Suivi des Procédures de Cadenassage ». L'utilisateur est invité à saisir son login et son mot de passe dans les champs appropriés pour accéder au système.

Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail

irst

SSPC - Le Système de Suivi des Procédures de Cadenassage a pour but d'authentifier et d'assister les opérateurs des presses à injection ainsi que de générer des rapports de suivi. Pour y accéder, veuillez saisir votre login et votre mot de passe!

Login :

Mot de passe :

Ouvrir une session

© 2008 IRSSST - Poly mécanique. Tous droits réservés.

Figure 31: Page d'accueil du « Système de Suivi des Procédures de Cadenassage »

Le package administration est sous la responsabilité de l'administrateur. Ainsi, lorsque la personne authentifiée est l'administrateur, une liste déroulante des utilisateurs du système est affichée. Elle comprend noms, mots de passe, profils et adresses courriel. L'administrateur peut alors effectuer plusieurs actions comme (i) modifier un utilisateur existant, (ii) supprimer un utilisateur existant, (iii) réinitialiser le mot de passe d'un utilisateur existant, et (iv) ajouter un nouvel utilisateur. L'interface liée à ces actions est illustrée à la figure 32 et des exemples pour la création et la modification du profil d'un utilisateur sont présentés en annexe avec les figures D.3 et D.4.

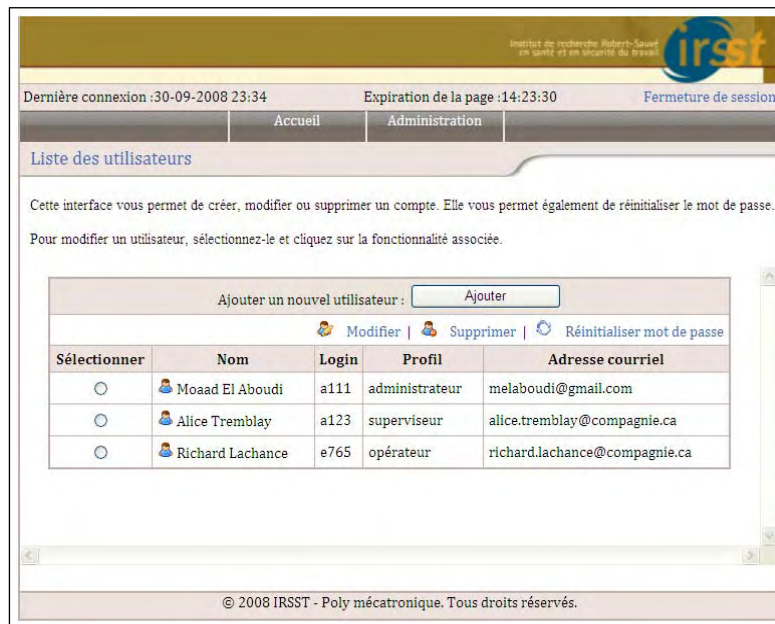


Figure 32: Liste des utilisateurs et des fonctionnalités disponibles

- « Package suivi des procédures de cadenassage »

Cette partie traite de la gestion des données et de la création du rapport, elle concerne le superviseur du cadenassage.

Ainsi, si l'utilisateur authentifié est le superviseur, il verra s'afficher la liste de toutes les opérations de cadenassage effectuées par le travailleur. Ces opérations sont regroupées par lot, qui représente une suite d'opérations d'une même procédure de cadenassage.

Comme le montre la figure 33, la liste peut être ordonnée par la date et l'heure, ainsi que par l'opération.

La barre inférieure permet d'exporter les données sous différents formats, notamment CSV, Excel et XML, pour être exploitées ultérieurement. La figure D.5 en annexe illustre le cas où les données sont exportées en format Excel.

The screenshot shows a web interface for generating reports. At the top right is the IRSST logo (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail). Below the header, there are navigation links for 'Accueil' and 'Rapports'. The main content area is titled 'Rapports' and contains a paragraph explaining the interface's purpose. Below this is a summary box indicating '12 objets trouvés, affichage 1 à 6.' and navigation links '[Prem/Préc] 1, 2 [Suiv/Dern]'. A table with 4 columns (Lot #, Opération, Opérateur, Date et heure) lists six operations performed by Richard Lachance on 05/10/2008. At the bottom, there are 'Options Export' for CSV, Excel, and XML, and a copyright notice for 2008 IRSST - Poly mécatronique.

Lot #	Opération	Opérateur	Date et heure
1	1 Extinction de la machine	Richard Lachance	05/10/2008 08:00:43
	2 Fermeture du disjoncteur	Richard Lachance	05/10/2008 08:02:15
	3 Installation du cadenas	Richard Lachance	05/10/2008 08:05:07
	4 Fermeture de la valve d'eau	Richard Lachance	05/10/2008 08:07:59
	5 Test de redémarrage	Richard Lachance	05/10/2008 08:10:59
	6 Installation de la cale	Richard Lachance	05/10/2008 08:12:00

Figure 33: Page de génération de rapports de suivi

6. DISCUSSIONS

Les sections précédentes ont permis de définir les exigences de conception de l'outil et de proposer des solutions. Dans cette section, les limites d'un tel outil sont identifiées. Le prototype qui est proposé est un outil préliminaire d'observation et de suivi d'une procédure de cadenassage, tel que démontré par les études expérimentales.

6.1 Faisabilité de l'outil : études expérimentales

Afin de valider et d'évaluer le potentiel des solutions choisies lors de l'étude, le développement d'un prototype préliminaire a été réalisé. 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 ont principalement porté sur les trois cartes électroniques sans la liaison avec l'ordinateur et sa base de données, cette dernière partie étant en cours de développement au moment de la rédaction du rapport. La série de tests présentée a été effectuée sur la version la plus aboutie de l'outil.

6.1.1 Tests sur les trois cartes électroniques

Les tests portent sur les trois cartes électroniques sans liaison avec l'ordinateur et la base de données. Le tableau 11 résume les tests sur (i) 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.

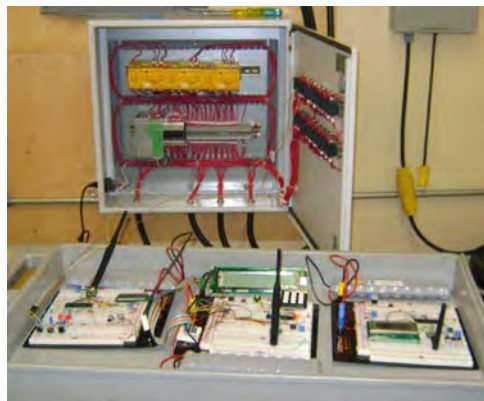


Figure 34: Intégration des trois cartes électroniques à la presse à injection lors des tests

- Conditions de la série de tests :
 - La presse est alimentée en énergie, mais n'est pas en production.
 - Le capteur de température, à cause du temps de refroidissement, est simulé à l'aide d'un interrupteur branché à l'entrée de la carte « machine ». Le fonctionnement de ce capteur a

été validé de façon indépendante.

- La carte superviseur n'est pas connectée à l'ordinateur. Les tests se déroulent uniquement sur les 3 cartes électroniques et les capteurs.
- Pour la compréhension du tableau des tests, il faut savoir que les informations liées aux capteurs et à l'alarme sont traitées sous forme de byte (unité de traitement informatique).

Tableau 11: Tests de fonctionnement des trois cartes électroniques et des capteurs installés sur la presse à injection

Test #1 : Démarrage			
Test	Objectifs	Moyen de contrôle	Résultats
Affichage du texte de bienvenue au démarrage de la carte « opérateur ».	S'assurer du bon démarrage de la carte « opérateur ».	Affichage sur l'écran LCD de la carte « opérateur » du message de bienvenue.	Satisfaisant.
Connexion sans fil entre les cartes : « opérateur » - « machine » et « opérateur » - « superviseur ».	S'assurer du bon fonctionnement des communications sans fil.	Affichage sur l'écran LCD de la carte « opérateur » de « Check ma ok » « Check sup ok ».	Satisfaisant.
Test #2 : Identification du travailleur			
Test	Objectifs	Moyen de contrôle	Résultats
Entrée du nom d'utilisateur et du mot de passe sur le clavier de la carte « opérateur ».	S'assurer du bon fonctionnement du clavier et du module d'identification de la carte « opérateur ».	Affichage au fur et à mesure sur l'écran LCD de la carte « opérateur » du nom d'utilisateur et du mot de passe.	Satisfaisant, mais des problèmes de fiabilité ont été observés.
Envoi des données d'identification de la carte « opérateur » à « superviseur ».	S'assurer de la transmission des données d'identification de la carte « opérateur » à la carte « superviseur ».	Affichage sur l'écran LCD de la carte « superviseur » du nom d'utilisateur et du mot de passe.	
Comparaison des données d'identification avec la base de données de la carte « superviseur ».	S'assurer que le système d'authentification du travailleur fonctionne.	Affichage selon la situation sur l'écran LCD de la carte « superviseur » de : Access granted ou Access denied.	
Renvoi du résultat de la carte « superviseur » à la carte « opérateur ».	S'assurer que le résultat d'authentification du travailleur est transmis à la carte « opérateur » et s'affiche.	Affichage selon la situation sur l'écran LCD de la carte « opérateur » de : Access granted ou Access denied.	
Test #3 : Mesure des capteurs par la carte « machine »			
Test	Objectifs	Moyen de contrôle	Résultats
Réception par la carte « machine » des données des capteurs.	S'assurer que la carte « machine » récupère les données des capteurs 20 fois/seconde.	Affichage selon la situation du byte des capteurs sur l'écran LCD de la carte « machine ». Le byte doit changer à chaque manipulation des capteurs.	Satisfaisant, mais des problèmes de fiabilité ont été observés.

.../...

(Suite du tableau 11)

Test #4 : Transfert des données des capteurs de la carte « machine » à la carte « opérateur »			
Test	Objectifs	Moyen de contrôle	Résultats
Demande de la carte « opérateur » du byte des capteurs 10 fois/seconde à la carte « machine ».	S'assurer que la carte opérateur demande 10 fois / seconde à la carte « machine » le byte des capteurs.	LED rouge de la carte opérateur clignote lors des transmissions.	Satisfaisant, mais des problèmes de fiabilité ont été observés.
Envoi du byte des capteurs de la carte « machine » à la carte « opérateur ». Comparaison avec le byte précédent au niveau de la carte « opérateur ».	S'assurer que la carte « opérateur » reçoit le byte des capteurs 10 fois/seconde.	Affichage du byte des capteurs sur l'écran LCD de la carte « opérateur ». Le byte doit changer à chaque manipulation des capteurs.	
Test #5 Détection d'une erreur dangereuse dans la procédure de cadénassage			
Test	Objectifs	Moyen de contrôle	Résultats
Si un changement dans le byte des capteurs se produit, comparaison de ce nouveau byte avec les bytes alarme. Si le byte des capteurs correspond à un byte alarme type: écriture du byte alarme et déclenchement d'une alarme (visuelle ou/et sonore).	S'assurer que si le byte des capteurs change, la carte opérateur compare ce byte avec les bytes alarme. Si le byte des capteurs correspond à un byte alarme s'assurer qu'une alarme se déclenche.	Si situation dangereuse : - affichage sur l'écran LCD de la carte « opérateur » du byte alarme différent de 0; - alarme visuelle (LED) et sonore (buzzer).	Satisfaisant, mais des problèmes de fiabilité ont été observés.
Envoi dans tous les cas de la carte « opérateur » à la carte « superviseur » du byte des capteurs et du byte alarme. Réception des 2 bytes (senseur et alarme) par la carte « superviseur ».	S'assurer que la carte « opérateur » envoie dans tous les cas le byte des capteurs et le byte alarme à la carte « superviseur ».	Affichage sur l'écran LCD de la carte « superviseur » du byte alarme et du byte des capteurs.	



Figure 35: Texte de bienvenue affiché sur l'écran LCD de la carte « opérateur »

- Résultats des tests et actions correctives

À la suite de cette série de tests et de la correction de problèmes mineurs, les résultats obtenus sont encourageants. L'outil répond aux fonctionnalités qui lui sont demandées.

Les problèmes de fiabilité énoncés dans le tableau 12 correspondent à des pertes intempestives de la fonctionnalité des cartes électroniques. Pour la récupérer, un redémarrage des cartes devait être effectué.

Ainsi, il est nécessaire d'améliorer la fiabilité de l'outil selon les principes énoncés à la sous-section 6.2.1.

6.1.2 Tests sur la liaison carte « superviseur » - ordinateur et la plate-forme « SSPC »

La partie de l'outil comprenant la liaison entre la carte superviseur et l'ordinateur muni de la plate-forme « SSPC » se résume à (i) l'interface dynamique ordinateur – superviseur/administrateur, (ii) le traitement et l'enregistrement des données liées à la procédure de cadenassage (capteurs, identification du travailleur, erreurs, alarme) et (iii) la création du rapport de supervision.

Les tests qui devront être effectués sur la plate-forme « SSPC » et la liaison carte « superviseur » - ordinateur sont résumés au tableau 12.

Tableau 12: Tests à réaliser sur la plate-forme « SSPC » et la liaison USB entre la carte « superviseur » et l'ordinateur

Tests		Objectif
#1	Fonctionnement de la liaison USB entre la carte « superviseur » et l'ordinateur.	Vérifier la bonne transmission des données entre la carte « superviseur » et l'ordinateur.
#2	Enregistrement des données de la procédure de cadenassage et des déclenchements d'alarme.	S'assurer que les données à collecter pour la création du rapport sont enregistrées sur la plate-forme « SSPC ».
#3	Fonctionnement dynamique et interactif de la plate-forme.	S'assurer du bon fonctionnement dynamique de l'interface utilisateur de la plate-forme « SSPC » (tests sur chaque page de l'interface).
#4	Exportation des données pour la création du rapport de supervision.	Vérifier que l'exportation des données fonctionne. S'assurer que le rapport obtenu ne contient pas d'erreur par rapport à la procédure réalisée.

Les résultats des tests préliminaires sont encourageants et aucun obstacle technique n'est pour l'instant apparu pendant le développement de cette partie de l'outil.

6.2 Limites de l'étude et points de réflexion

L'outil électronique d'observation et de suivi des procédures de cadenassage présente pour l'instant des limites qui doivent être prises en considération lors d'une éventuelle poursuite de son développement.

6.2.1 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, 2006] 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 responsabilités. Une comparaison de l'information reçue par chaque microcontrôleur serait faite et, si elle est la même, serait affichée ou envoyée à une autre carte. 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 et CEI 62061 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 qui pourrait par exemple contenir un taux élevé d'humidité ou de poussière.

6.2.2 Éléments à améliorer

6.2.2.1 Étape de vérification de la procédure de cadenassage

En ce qui concerne l'étape de vérification, celle-ci consiste, normalement, à actionner les boutons de commande de la machine. Aucun élément de la machine ne devrait alors être mis en marche. Lors de notre étude, il n'a pas été possible de tester directement l'appui de ces boutons. L'utilisation d'une caméra pourrait être envisagée dans le futur pour corriger cette lacune.

Présentement, la vérification s'effectue en actionnant le sectionneur du panneau de commande de la presse. Cette solution offre le meilleur compromis entre la justesse de l'information recueillie et la faisabilité technique.

6.2.2.2 Capteurs et matériel

Le tableau 15 fait un résumé des actions à entreprendre au niveau du matériel pour la suite du développement de l'outil puisque certaines solutions temporaires ont été choisies afin de créer le prototype préliminaire.

Tableau 13: Récapitulatif des actions à entreprendre au niveau du matériel pour la suite du développement de l'outil.

Éléments	Améliorations prévues
Interrupteur du cadenas électronique qui commande le blocage/verrouillage du cadenas.	Remplacer l'interrupteur classique par un interrupteur à clé afin de contrôler le retrait du cadenas.
Cadenas électronique pour la valve.	Installer un cadenas électronique pour la valve d'eau sur le modèle de celui du sectionneur à fusibles ou bien remplacer la valve d'eau par une valve électronique cadenassable.
Capteurs de proximité.	Remplacer les capteurs de proximité par des dispositifs plus fiables et difficilement neutralisables.
Cale de retenue pour la genouillère.	Remplacer la cale en bois utilisée pour les tests par une cale réalisée dans un matériau plus résistant. Rendre la cale cadenassable lorsqu'elle est en position dans la genouillère. Permettre un meilleur contrôle du positionnement de la cale de retenue (ex. redondance des capteurs).

6.2.3 Flexibilité

L'outil devra démontrer une certaine flexibilité avant sa mise en application en milieu industriel. En usine, chaque tâche de maintenance, réparation ou déblocage peut requérir une procédure de cadenassage particulière. Or, l'outil développé lors de cette étude ne contient qu'une procédure de cadenassage.

Un autre aspect en lien avec la flexibilité de l'outil est sa capacité de pouvoir observer et suivre l'application des procédures de cadenassage s'étalant sur plusieurs quarts de travail.

De plus, il faudrait prendre en considération l'éventualité où différentes personnes travailleraient sur la réparation ou la maintenance d'une machine en même temps, par exemple lors des procédures de cadenassage complexes.

Enfin, afin de rendre l'outil moins encombrant et de réduire le filage et les risques de défauts associés, l'utilisation des capteurs sans fil devra être explorée. Cette approche rendrait l'outil plus versatile et résoudrait le problème d'éloignement entre (i) la machine et les dispositifs d'isolement des sources d'énergie et (ii) les zones dangereuses où sont installées les capteurs et la carte « machine ». Ce problème d'éloignement pourra surgir en usine, surtout avec de grandes machines ou des procédés industriels.

6.2.4 Éthique/Influence sur le travailleur

Afin d'aider les chercheurs lors d'un projet de recherche futur, l'outil devra permettre une observation autonome du travailleur dans des conditions de travail proches de la réalité. Idéalement, l'outil ne devrait donc pas prévenir le travailleur lors d'une erreur au cours de sa procédure de cadénassage afin de ne pas influencer les résultats et d'être le moins intrusif possible. Si le travailleur sait que toute erreur lui sera signalée, il pourrait faire moins d'effort pour effectuer un suivi rigoureux de la procédure de cadénassage indiquée sur sa fiche de cadénassage. Dans ce cas-ci, l'outil ne sera pas un moyen de tester l'apprentissage de la procédure. Cependant, une question éthique se pose, car certaines erreurs lors de l'application des procédures de cadénassage peuvent mener à des situations dangereuses pour le travailleur.

Pour résoudre ce dilemme, la solution qui est proposée dans cette étude exploratoire est de laisser le travailleur poursuivre sa procédure de cadénassage et de faire intervenir d'outil uniquement lorsqu'une erreur pouvant mener à une situation dangereuse est détectée. On considère ainsi que l'on influence au minimum le travailleur tout en sauvegardant sa sécurité.

6.2.5 Collaboration d'un partenaire industriel

Tout au long de l'étude, plusieurs ajouts et modifications ont été réalisés sur la presse à injection, notamment pour l'intégration des capteurs. Ces travaux ont été possibles en laboratoire sur une machine de l'IRSSST, mais il paraît plus délicat de procéder à ce genre de modifications sur une machine en industrie.

La mise en place de l'outil en milieu industriel va nécessiter une usine qui soit impliquée dans l'étude. En outre, pour réussir à intégrer l'outil à une machine de production, il faudra (i) avoir l'appui des décideurs de l'usine choisie, (ii) avoir la collaboration du personnel de maintenance de l'usine et des travailleurs qui effectue le cadénassage, et (iii) trouver une machine qui soit adaptée pour l'outil.

L'acceptation d'un tel outil d'observation et de suivi par le milieu de travail n'est bien sûr pas acquise d'avance. Le prototypage de l'outil et les problématiques liées à son intégration nous incitent à penser que si l'étude se poursuit, les chercheurs devront préparer un partenariat avec un industriel pour l'impliquer au plus tôt.

7. CONCLUSION

Les objectifs de cette étude exploratoire sont de :

- Évaluer la faisabilité de développer un outil d'observation et de suivi des procédures de cadénassage afin d'aider à observer et à suivre l'application du cadénassage en milieu industriel.
- Définir les exigences de conception de cet outil en utilisant une presse à injection de plastique.

L'outil qui est proposé est constitué de trois cartes électroniques à communication sans fil. Ces cartes sont :

- La carte « machine » installée sur la presse à injection et qui mesure les changements d'état des énergies, des dispositifs d'isolement des sources d'énergie et des dispositifs de cadénassage lors de l'application de la procédure de cadénassage.
- La carte « opérateur » qui permet au travailleur de s'identifier au début de la procédure, qui affiche les étapes de la procédure de cadénassage 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 cadénassage, et génère un rapport qui contient entre autres les erreurs du travailleur lors de l'application de la procédure de cadénassage.

Le tableau 14 permet de faire le point entre les objectifs initialement énoncés et les solutions développées tout au long de l'étude.

Tableau 14: Comparaison entre les objectifs énoncés et les solutions développées

Objectifs énoncés	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 de la procédure de cadénassage, d'authentifier la personne responsable du cadénassage, et de générer un rapport où les erreurs seront répertoriées.
Évaluer la faisabilité du développement de l'outil.	Prototype et études expérimentales sur la solution proposée.

Le prototype préliminaire développé et les tests réalisés démontrent la faisabilité de l'outil d'observation et de suivi des procédures de cadenassage. Néanmoins, certains éléments tels que sa fiabilité et sa flexibilité devront être considérés avant sa conception finale, son développement plus approfondi et sa mise à l'essai en milieu industriel. Les résultats préliminaires sont toutefois prometteurs. Un tel outil pourra certainement aider :

- Les personnes responsables des audits de l'application des procédures de cadenassage en milieu industriel;
- Les travailleurs en leur offrant un suivi plus rigoureux des procédures de cadenassage, améliorant ainsi leur sécurité; et
- Les formateurs en cadenassage en agissant comme un outil pédagogique.

BIBLIOGRAPHIE

- ANSI/SPI B151.1 (2005). American national standard for plastics machinery - Horizontal injection molding machines - Safety requirements for manufacture, care and use, American National Standard Institute.
- ANSI/ASSE Z244.1 (2003). Control of hazardous energy, Lockout/tagout and alternative methods, American National Standard Institute, American Society of Safety Engineers. Des Plaines, IL: ASSE.
- Arburg (2008). ALLROUNDER 221 K Caractéristiques techniques, 8 p., http://www.arburg.com/com/common/download/web_522561_fr.pdf
- Asselin M. (2007). Présentation sur l'Étude exploratoire visant à évaluer la faisabilité du développement d'un outil de suivi des procédures de cadenassage sur une presse à injection, IRSST.
- Carras J., (2005). Rapport de Travaux de Fin d'Études: Étude exploratoire d'un moyen de suivi automatique des procédures de cadenassage, Document interne à l'IRSST.
- Chinniah Y., Bourbonnière R. (2006). Automation safety: Assessing the risks and understanding safeguards, Automation Safety, Dec. 2006, pp. 26-33.
- Chinniah Y., Champoux M. (2008). Rapport R-557, La sécurité des machines automatisées : analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique, IRSST, Montréal.
- Chinniah Y., Champoux M., Bulet-Vienney D., Daigle R. (2008). Rapport R-575, Analyse comparative des programmes et procédures de cadenassage appliqués aux machines industrielles, IRSST, Montréal.
- CEI 61496-1 (2004). Sécurité des machines - Équipements de protection électro-sensibles – Partie 1, rajout d'un amendement en 2007, 114 p., Commission Électrotechnique Internationale.
- 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, 152 p., Commission Électrotechnique Internationale.
- CEI 62061 (2005). Sécurité des machines - Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité, 214 p., Commission Électrotechnique Internationale.
- CSA Z432-04 (2005). Protection des machines, Canadian Standards Association.
- CSA Z460-05 (2005). Control of hazardous energy: Lockout and other methods, Canadian Standards Association.

- CSST (2008). Rapports d'accidents au Québec sur le site de la Commission de la santé et de la sécurité du travail, www.csst.qc.ca
- Daoust A. (2003). Le cadenassage, une question de survie. Le Groupe de Communication Sansectra Inc. (ISBN 2-9804804-3-6).
- EN 201 (2006). Machines pour le caoutchouc et les matières plastiques - machines à injecter - prescriptions de sécurité, norme européenne, 18p., AFNOR (Association Française de Normalisation).
- EN 693 (2001). Machines-outils - Sécurité - Presses hydrauliques, norme européenne, 54 p., AFNOR (Association Française de Normalisation).
- INRS - ED 754 (1996). Consignation et déconsignation. Institut National de Recherche et de sécurité, <http://www.inrs.fr>
- INRS - ND 2261-205-06 (2006). Neutralisation des dispositifs de protection sur les machines : un problème multidimensionnel, HST, Institut national de recherche et de sécurité. www.inrs.fr
- ISO 12100-1 (2003). Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1: Terminologie de base, méthodologie, International Standard Organisation, Geneva, Switzerland.
- ISO 12100-2 (2003). Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 2: Principes techniques, International Standard Organisation, Geneva, Switzerland.
- ISO 13849-1 (2006). Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1: Principaux généraux de conception, 33 p., International Standard Organisation, Geneva, Switzerland.
- ISO 14121-1 (2007). Sécurité des machines - Appréciation du risque - Partie 1: Principes, International Standard Organisation, Geneva, Switzerland.
- Kelley S. (2001). Lockout Tagout: A Practical Approach, American Society of Safety Engineers. (ISBN 1-885581-35-1).
- Mutawe A.M., Tsunehara R., Glaspey L.A. (2002). OSHA'S lockout/tagout standards: a review of key requirements, Professional safety, Vol. 47, no. 2, p. 20-24.
- OSHA 1910.147 (1989). Regulations Standards - 29 CFR, The control of hazardous energy (lockout/tagout), http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9804
- RCSST (2008). Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail, juridiction fédérale, art. 13.16, Section Outils et machines, Sous-section Utilisation, mise en service, réparation et

entretien des dispositifs protecteurs, <http://laws.justice.gc.ca/fr/ShowFullDoc/cr/DORS-86-304//fr>

RSST (2001). Règlement sur la santé et la sécurité du travail (Occupational Health and Safety Regulation), Décret 885-2001.

SSGCC (2008). Cours santé et sécurité générale sur les chantiers de construction, 5^e édition, Module 14, Électricité 2

St-Marseille M. (1998). Le cadenassage ou le contrôle des sources d'énergie, février 1998.

US Department of Labor (2005). Bureau of Labor Statistics, National Safety Council: 2005.

ANNEXE A : EXEMPLES DE FICHES DE CADENASSAGE POUR LA PRESSE À INJECTION PLASTIQUE DE L'IRSST

A.1. Fiche de cadenassage sur la presse à injection de l'IRSST pour la tâche « enlever, nettoyer et réinstaller la buse »

Les figures A.1 et A.2 donnent un exemple de fiche de cadenassage à utiliser sur la presse à injection de l'IRSST pour l'opération « Enlever, nettoyer et réinstaller la buse ».










	Fiche de Cadenassage Presse à Injection Plastique Tâche : Enlever, nettoyer et réinstaller la buse	 1/2		
Matériel Obligatoire				
 Gants résistant à la chaleur DIN EN 420/EN407	+	 Masque facial DIN EN 166		
	+	 Chaussures de sécurité catégorie S2, DIN EN 345		
Dessins de Références				
 				
Étapes préalables aux cadenassage				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Aviser votre superviseur que vous allez entamer une procédure de cadenassage 2. Prévenir tous les utilisateurs pouvant être affectés par la procédure 3. Chauffer le cylindre à la température respective correspondant au matériel utilisé soit à 220-300° 4. Ajuster un faible débit et une faible pression 5. Purger le cylindre jusqu'à ce qu'il soit vide 6. La buse doit rester chaude pour la suite des opérations 				
Source D'énergie	Isolation	Dissipation	Condamnation	Vérification
Énergie Électrique Moteur 7	Mettre l'alimentation du Sectionneur Moteur à "OFF" 8		 Apposer un cadenas d'emprunt et une étiquette sur le sectionneur moteur 9	Mettre la machine en marche
Énergie Électrique Chauffage 10	Mettre l'alimentation du Sectionneur Chauffage à "OFF" 11		 Apposer un cadenas d'emprunt et une étiquette sur le sectionneur chauffage 12	-Vérifier au voltmètre que les 3 phases des sectionneurs sont à 0 V.
Énergie Hydraulique Collecteur 13		Visser lentement un tuyau avec un embout adapté dans un trou de dissipation et laisser couler l'huile dans un récipient. Abaisser les pressions à 0 bar. 14		-Placer le manomètre à la sortie du trou M23 et M31 et vérifier qu'il y a bien 0 bar. 16

Figure A.1: Fiche de cadenassage pour la tâche Enlever, nettoyer et réinstaller la buse (1/2)

	Fiche de Cadenassage Presse à Injection Plastique Tâche : Enlever, nettoyer et réinstaller la buse	 2/2
Dessins de Références		
Figure 3  1 Bout de la buse 3 Thermocouple 2 Bande chauffante 4 Corps de la buse		
Instructions de sécurité		
  	Avec des matériaux thermique sensibles, la création de pression dans le cylindre est possible. Ne restez pas devant le cylindre lorsque vous dévisser le corps de la buse	  
Suite de la procédure		
<ol style="list-style-type: none"> 17. Mettre la clé des cadenas d'emprunt dans la boîte de cadenassage 18. Fermer la boîte de cadenassage grâce au cadenas personnel. 19. Enlever la bande chauffante de la buse figure 3 20. Dévisser le thermocouple figure 3 21. Dévisser le corps de la buse figure 3 22. Nettoyer la buse entièrement avec la brosse présente dans les pièces détachées et appliquer une légère couche de graisse résistante à la chaleur sur les filets et les ajustements de la buse 23. Revisser la buse sans la serrer entièrement. 24. Décadenasser la boîte de cadenassage. 25. Décadenasser le sectionneur du chauffage 26. Remettre la clé des cadenas d'emprunt dans la boîte de cadenassage. 27. Cadenasser la boîte avec un cadenas personnel. 28. Remettre le sectionneur chauffage en position "ON " 29. Laisser chauffer la buse pendant 10 minutes. 30. Resserrer la buse à 600Nm (443 ft lbs) 31. Remettre la bande chauffante. 32. Remettre le thermocouple en le serrant bien. 33. Revisser le bout de la buse sans le serrer 34. Laisser chauffer le bout de la buse. 35. Serrer à 600Nm. 		

Figure A.2: Fiche de cadenassage pour la tâche Enlever, nettoyer et réinstaller la buse (2/2)

A.2. Fiche de cadenassage sur la presse à injection de l'IRSST pour la tâche « changement de moule »

Les figures A.3 et A.4 donnent un exemple de fiche de cadenassage à utiliser sur la presse à injection de l'IRSST pour l'opération « Changement de moule ».

		Fiche de Cadenassage Presse à Injection Plastique Tâche : Changement de Moule			 1/2
Matériel Obligatoire					
 Gants résistant à la chaleur DIN EN 420/EN407 +	 Masque facial DIN EN 166 +	 Chaussures de sécurité catégorie S2, DIN EN 345			
Dessins de Références					
					
Étapes préalables aux cadenassage					
1. Aviser votre superviseur que vous allez entammer une procédure de cadenassage 2. Prévenir tous les utilisateurs pouvant être affectés par la procédure 3. Reculer la buse complètement 4. Fermer le moule					
Source D'énergie	Isolation	Dissipation	Condamnation	Vérification	
Énergie Électrique Moteur 5	Mettre l'alimentation du Sectionneur Moteur à "OFF" 6		 Apposer un cadenas d'emprunt et une étiquette sur le sectionneur moteur 7	-Mettre la machine en marche -Vérifier au voltmètre que les 3 phases du section- neur est à 0V	
Énergie Hydraulique Vanne du circuit d'eau froide 8	Fermer la vanne de circuit d'eau froide 9		 Apposer le dispositif de verrouillage pour la valve ainsi que le cadenas d'emprunt et une étiquette 10		
Énergie Mécanique Genouillère 11	Mettre la tige de blocage dans l'articulation de la genouillère 12				

Figure A.3: Fiche de cadenassage pour la tâche Changement de moule (1/2)

	Fiche de Cadenassage Presse à Injection Plastique Tâche : Changement de moule	 2/2
Dessins de Références		
		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">    </div> <div style="text-align: center;"> <p>Il peut s'avérer très dangereux de manipuler un moule, soyez très vigilant lors de l'installation de celui-ci.</p> </div> <div style="text-align: center;">    </div> </div>		
Suite de la procédure		
<ol style="list-style-type: none"> 14. Mettre la clé des cadenas d'emprunt dans la boîte de cadenassage 15. Fermer la boîte de cadenassage grâce au cadenas personnel. 16. Mettre un système de levage sur la partie arrière du moule 17. Dévisser la partie arrière 18. Retirer la tige de blocage 19. Reculer manuellement la genouillère 20. Enlever les quatre serre-joints de la partie avant du moule 21. Retirer le moule 22. Amener le nouveau moule 23. Procéder à l'ajustement mécanique de l'engrenage afin d'obtenir la largeur désirée pour le nouveau moule 24. Aligner correctement l'anneau du nouveau moule avec l'entrée de la buse d'injection 25. Mettre en place la partie avant du moule 26. Avancer manuellement la genouillère 27. Visser l'arrière du moule 28. Décadenasser toutes les énergies qui ont été cadenassées 		

Figure A.4: Fiche de cadenassage pour la tâche Changement de moule (2/2)

ANNEXE B : BRANCHEMENTS DES ÉLÉMENTS DES CARTES MACHINE/OPÉRATEUR/SUPERVISEUR

B.1. Branchements de la carte électronique « machine ».

La figure B.1 illustre les branchements avec les capteurs de la presse à injection, la batterie, l'écran LCD et l'antenne pour les communications sans fil.

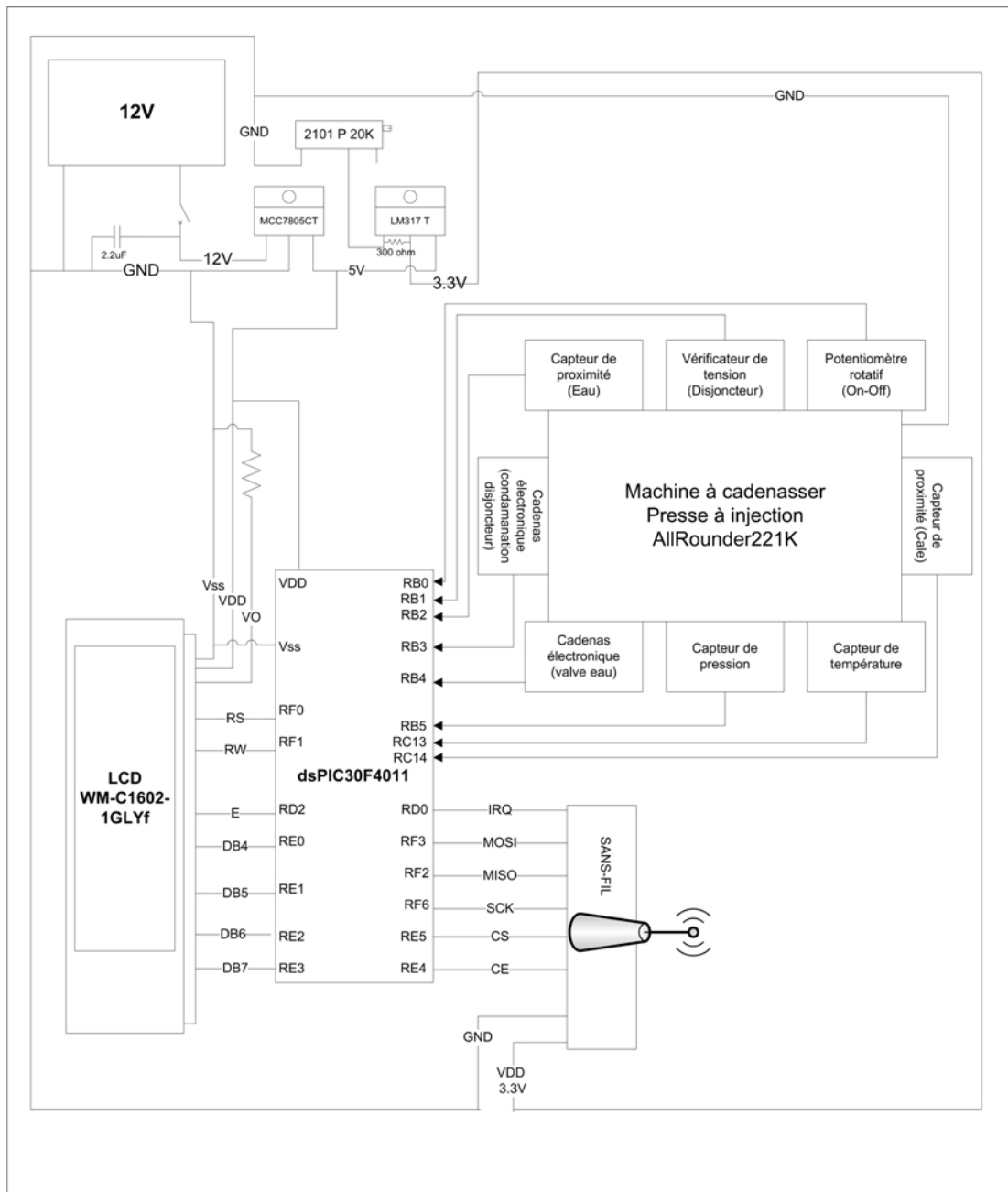


Figure B.1: Branchement des différentes composantes de la carte « machine »

B.2. Branchements de la carte électronique « opérateur ».

La figure B.2 illustre les branchements avec la batterie, l'écran LCD, le clavier numérique et l'antenne pour les communications sans fil.

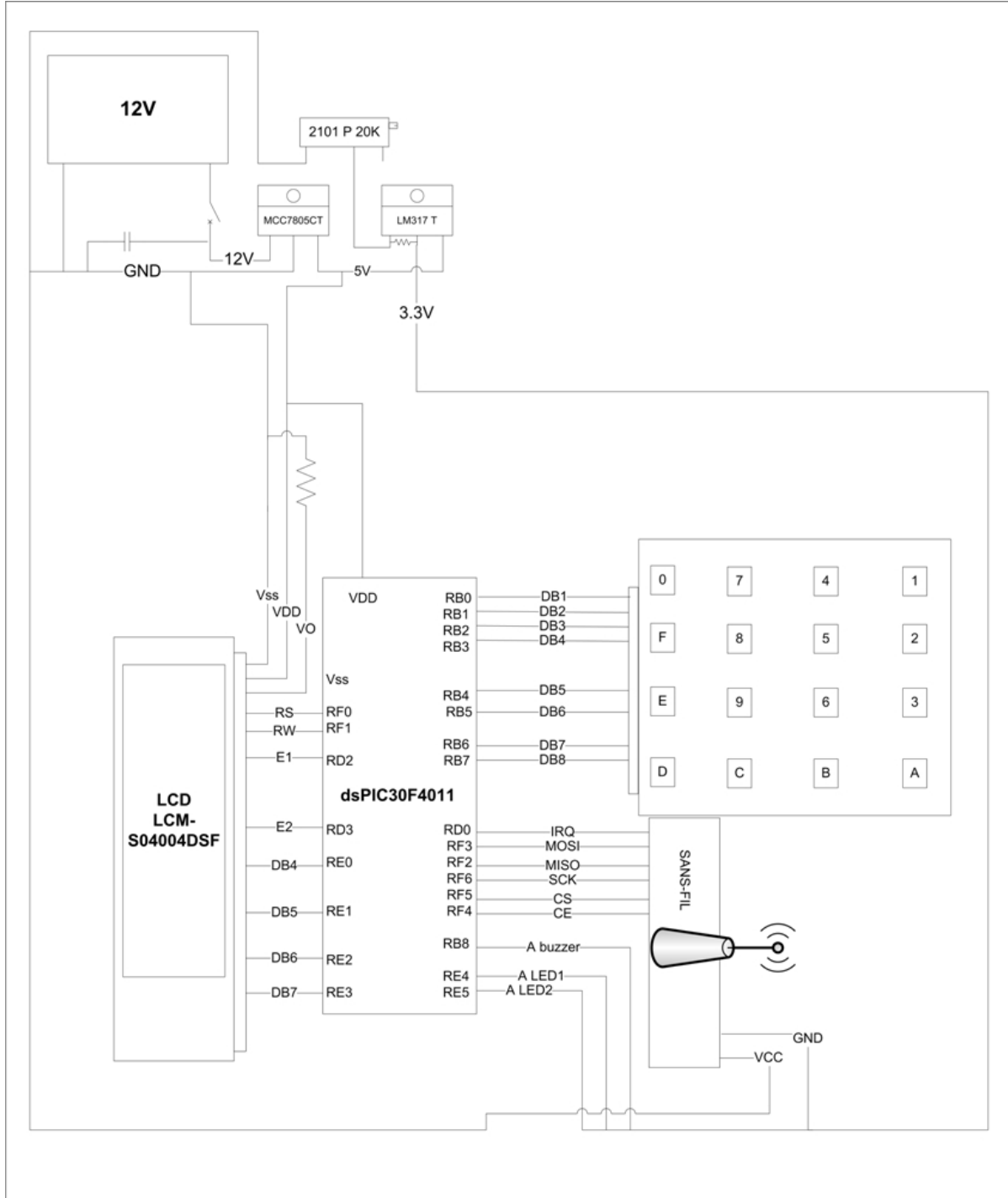


Figure B.2: Branchement des différentes composantes de la carte « opérateur »

B.3. Branchements de la carte électronique « superviseur »

La figure B.3 illustre les branchements avec la batterie, l'écran LCD, l'ordinateur via USB et l'antenne pour les communications sans fil.

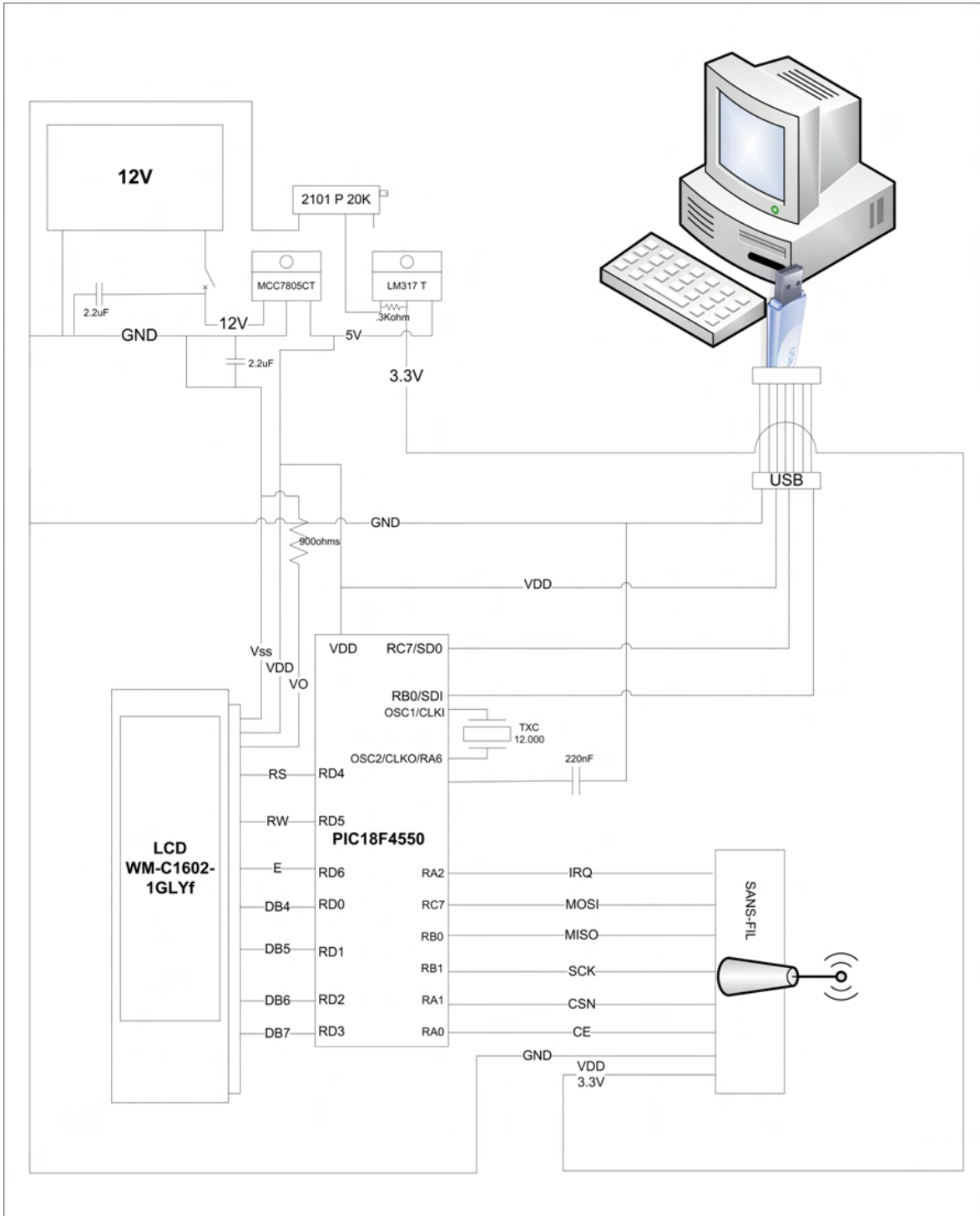


Figure B.3: Branchement des différentes composantes de la carte « superviseur »

B.4. Branchement des capteurs installés sur la presse de l'IRSST

La figure B.4 donne les branchements des différents capteurs à la boîte de jonction ajoutée sur la presse à injection.

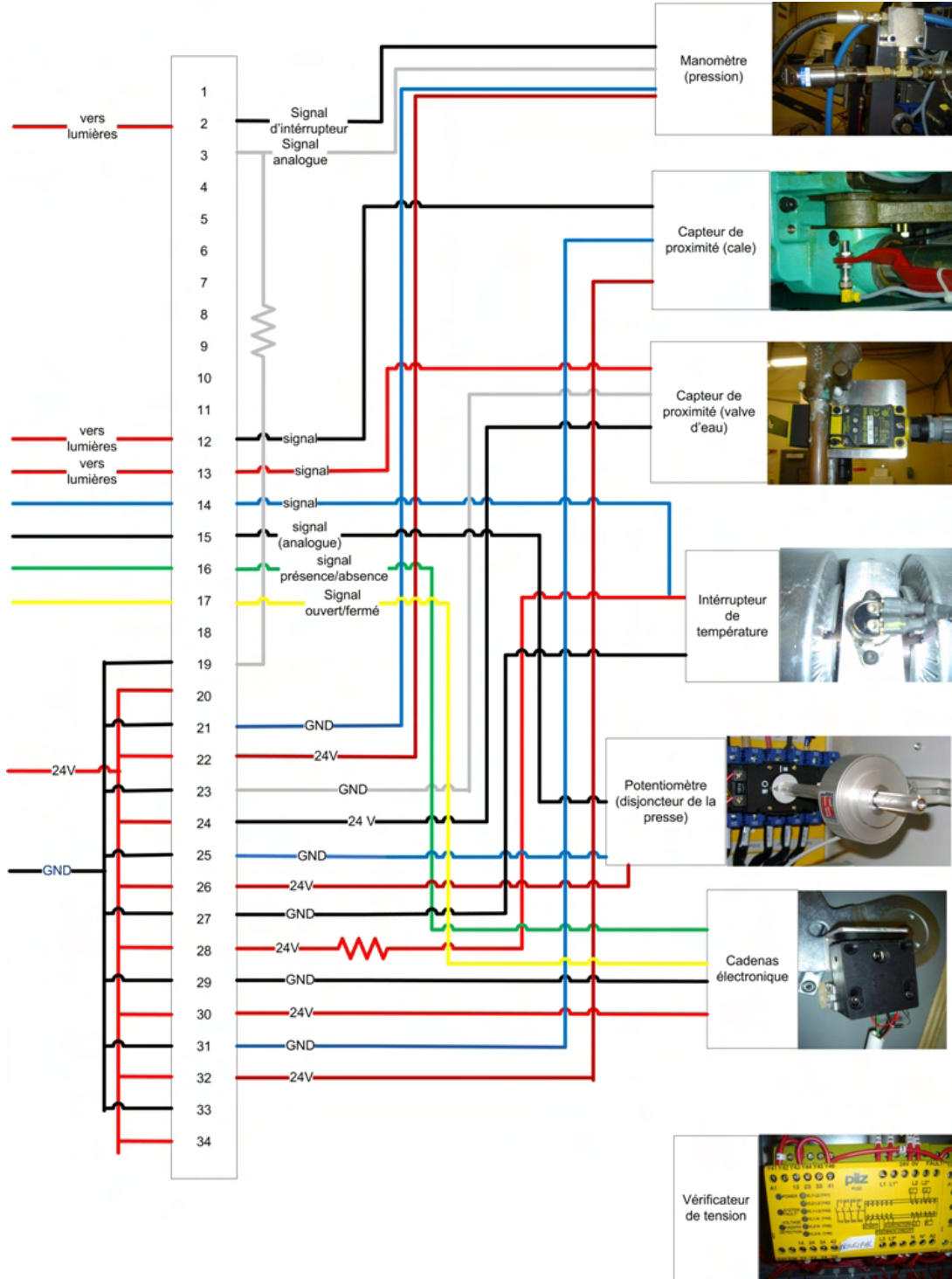


Figure B.4: Branchement des capteurs à la boîte de jonction de la presse à injection

ANNEXE C : ORGANIGRAMMES TECHNIQUES

C.1. Vérification de l'état des capteurs

La figure C.1 illustre la séquence logique utilisée pour la vérification des capteurs.



Figure C.1: Vérification des états des capteurs

C.2. Saisie des noms d'utilisateurs et des mots de passe

La figure C.2 illustre la séquence logique utilisée au niveau de la carte « opérateur » pour la saisie des identifiants des travailleurs.

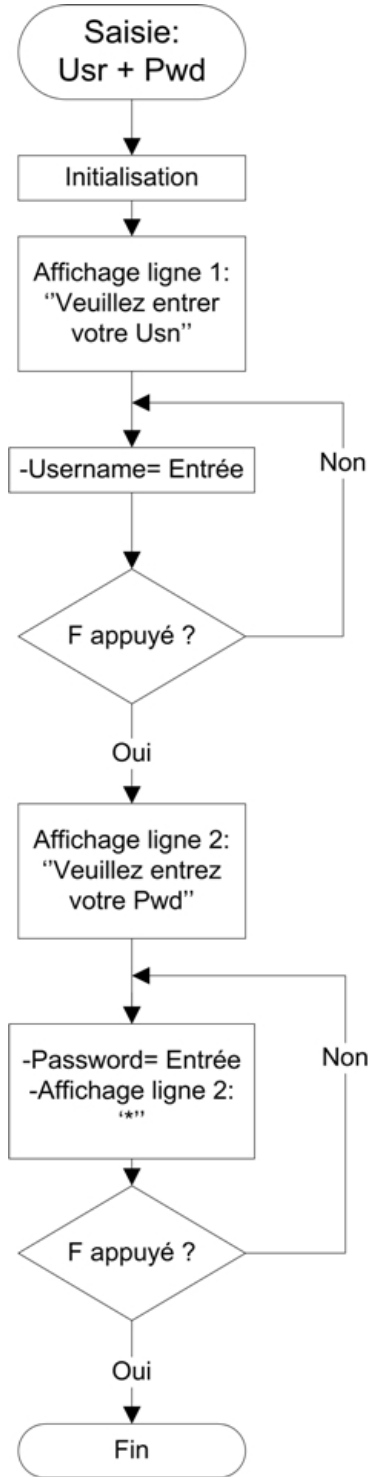


Figure C.2: Saisie des noms d'utilisateurs et des mots de passe

C.3. Authentification des données par les travailleurs

La figure C.3 illustre la séquence logique utilisée pour l'authentification, au niveau de la carte « superviseur », des entrées données par les travailleurs sur la carte « opérateur ».

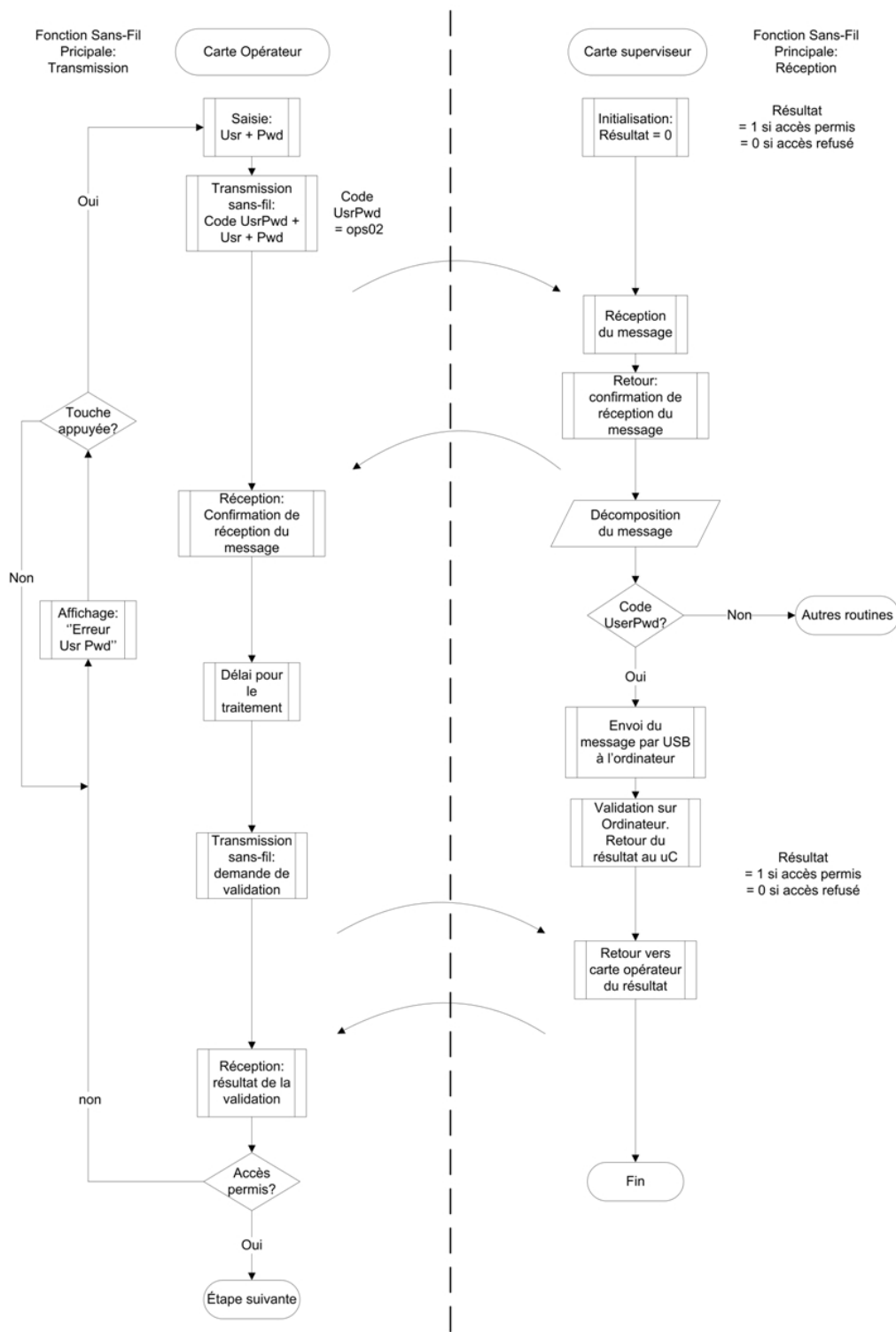


Figure C.3: Authentification des données par les travailleurs

C.4. Séquence logique de la procédure de cadenassage sur la presse à injection de l'IRSST

La figure C.4 illustre la séquence logique retenue comme référence par l'outil pour la procédure de cadenassage sur la presse à injection de l'IRSST.

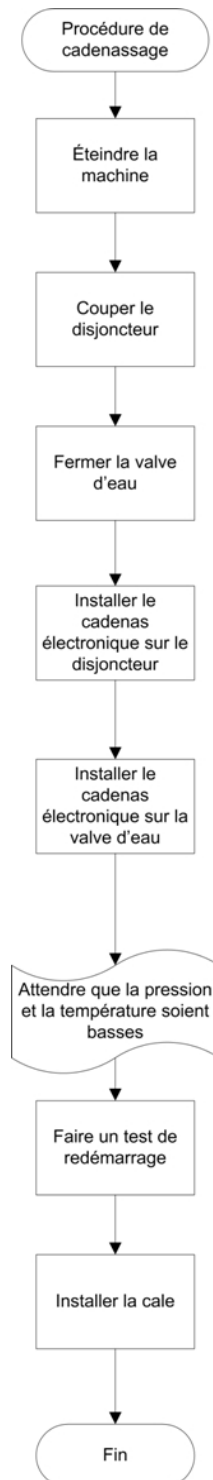


Figure C.4: La séquence logique de la procédure de cadenassage sur la presse à injection de l'IRSST

C.5. Génération d'un rapport

La figure C.5 illustre la séquence utilisée pour la transmission de données et la génération du rapport.

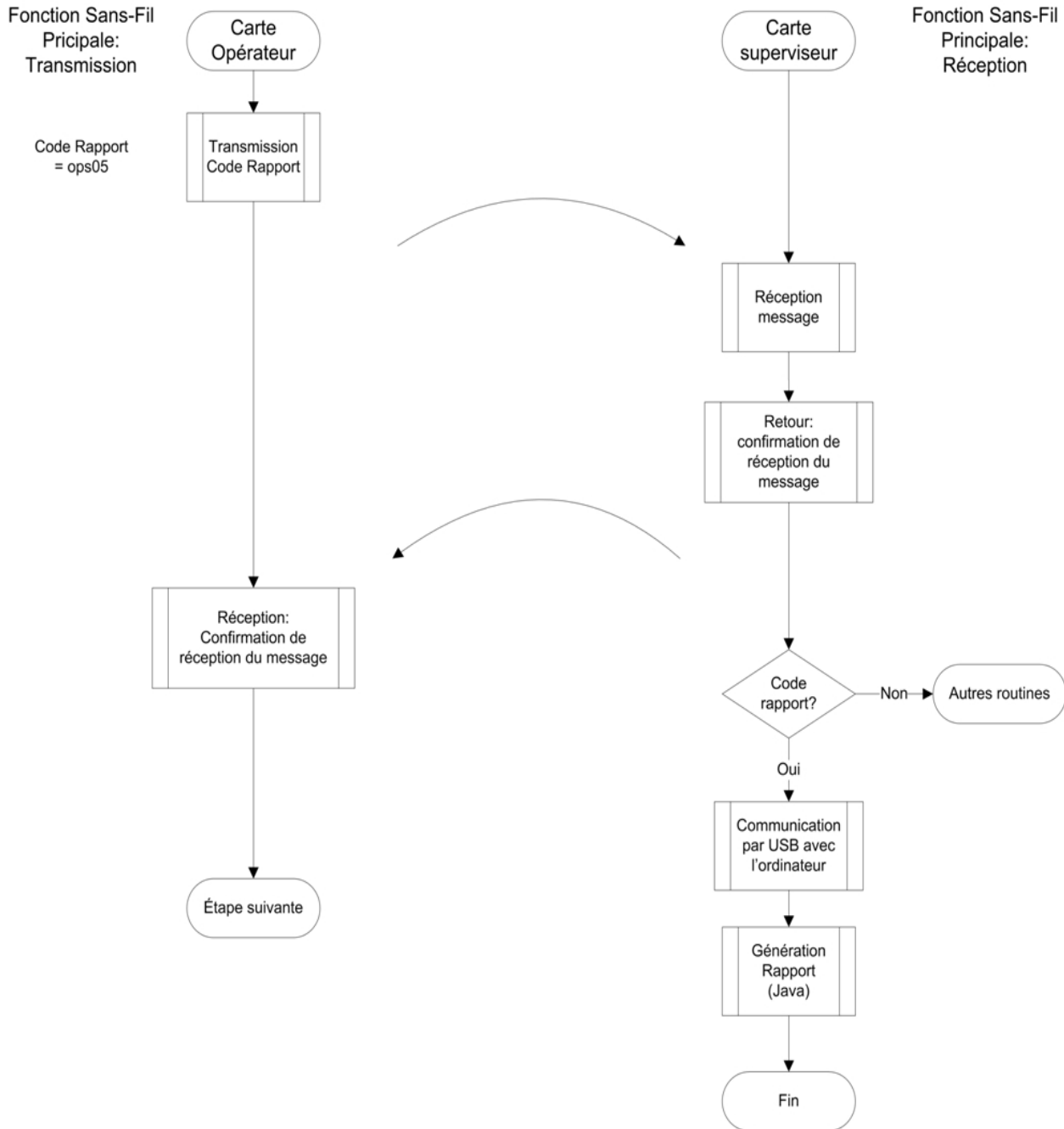


Figure C.5: Génération d'un rapport

ANNEXE D : PROGRAMMATION ET INTERFACE GRAPHIQUE

D.1. Diagramme de classes lié à l'identification du travailleur

La figure D.1 est un diagramme de classes illustrant l'agencement des paramètres liés à la programmation pour l'identification des travailleurs.

Le diagramme de classes est issu du Langage de Modélisation Unifié (UML). L'UML est un langage graphique de modélisation des données et des traitements. C'est une formalisation très aboutie et non-proprétaire de la modélisation objet utilisée en génie logiciel. L'objectif d'un diagramme de classes est de spécifier la structure générale d'un système. Un diagramme de classes est une collection d'éléments modélisant la structure du système en faisant abstraction des aspects dynamiques et temporels. Une classe définit un concept et elle décrit un type d'objet et ses caractéristiques.

Concrètement, chaque grand rectangle dans le diagramme est une classe. Il possède au maximum trois sous-divisions, dont le contenu suit une syntaxe normalisée. Ces sous-divisions sont de haut en bas :

- 1) Le nom de la classe;
- 2) La liste de ses attributs (équivalent pour simplifier à ces paramètres) ; et
- 3) La liste de ses opérations (équivalent à ses fonctions).

Par exemple, la classe « User » a pour paramètres le « id », le « login » des travailleurs, le « password » des travailleurs, etc. De plus, cette classe permet de créer des utilisateurs (createUser(User)), de les supprimer de la base (deleteUser(User)), etc.

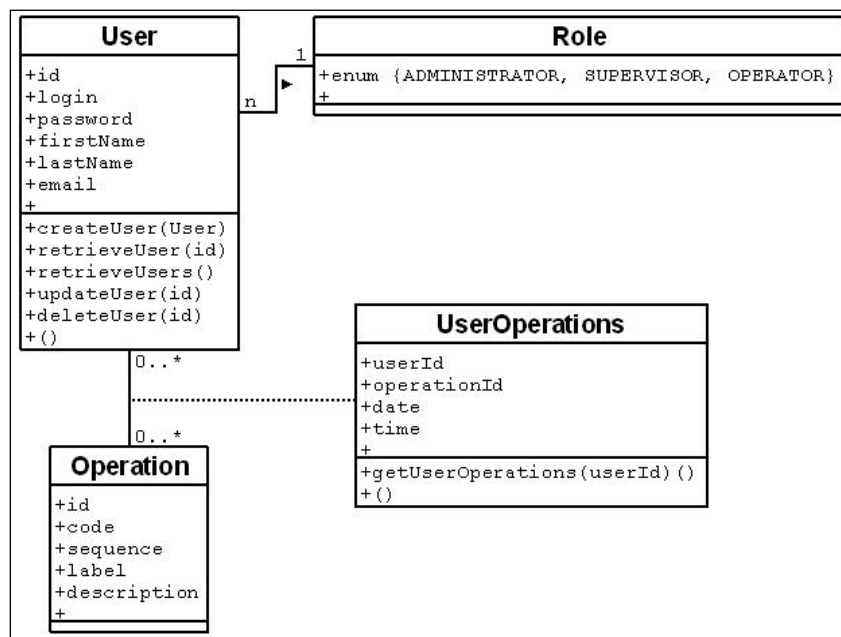


Figure D.1: Diagramme de classes lié à l'identification du travailleur

D.2. Architecture technique détaillée de la plate-forme JEE

La figure D.2 décrit l'architecture technique détaillée de la plate-forme Java Enterprise Edition utilisée lors de cette étude.

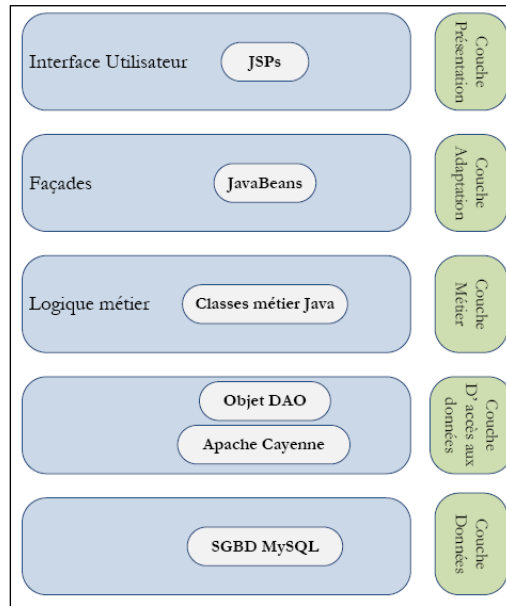


Figure D.2: Architecture technique détaillée

- La couche présentation est chargée du rendu graphique à l'utilisateur final. JEE fournit des mécanismes permettant d'avoir un affichage dynamique en HTML, via la technologie JSP entre autres (<https://java.sun.com/products/jsp>);
- La couche adaptation est le pont qui relie la couche présentation à la couche métier. Pour l'implémenter, on fait appel aux JavaBeans (<http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/javabeans/index.jsp>);
- La couche métier qui effectue les traitements en back end et relie les couches précitées à la couche de données et d'accès aux données. Les technologies qui permettent d'implémenter cette couche sont les JavaBeans ainsi que des classes Java ordinaires.
- La couche accès aux données qui représente toutes les technologies de persistance de données et permet d'avoir une indépendance vis-à-vis de la couche de données. Ainsi, il est aisé de migrer d'un système de gestion de bases de données à un autre. La technologie retenue est l'outil de mapping objet relationnel Apache Cayenne (cayenne.apache.org);
- La couche de données qui représente toutes les technologies de stockage et de restitution des données. Elle est implémentée par le système de gestion de bases de données MySQL (www.mysql.com).

Finalement, il est utile de mentionner que l'environnement de développement est Eclipse 3.3.2. Eclipse est un environnement de développement intégré (IDE) développé par IBM. Il permet de développer les applications respectant l'architecture J2EE.

D.3. Prototypage de l'interface graphique

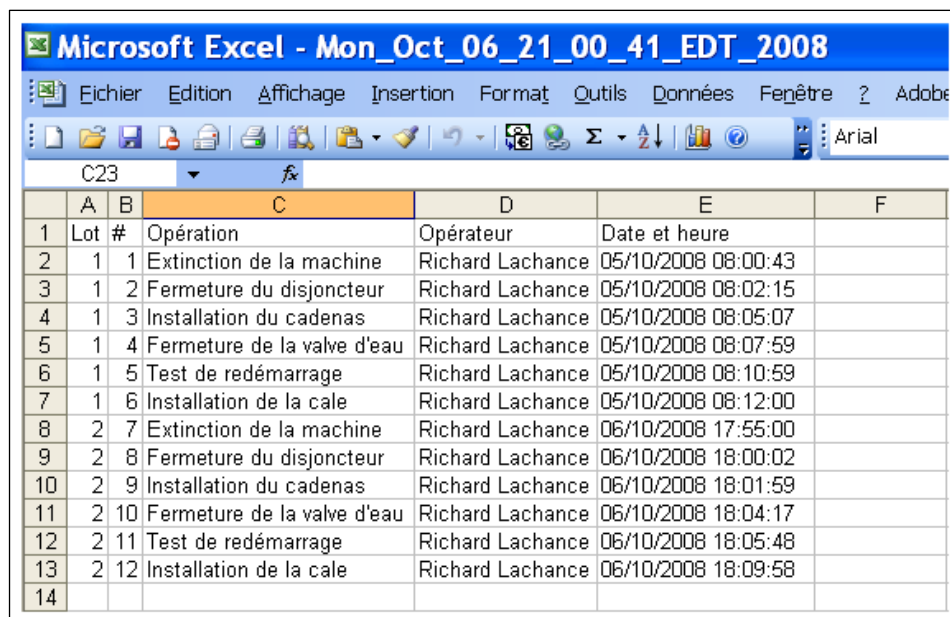
Les figures D.3, D.4 et D.5 donnent un aperçu de l'interface graphique entre l'outil et le superviseur au niveau de l'ordinateur relié à la carte « superviseur ». Ces figures D.3, D.4, et D.5 sont des aperçus respectivement de la page de création d'un nouvel utilisateur, de la page de modification du profil d'un utilisateur et l'exemple d'un rapport d'une procédure de cadenassage exporté sous format Excel.

The screenshot shows a web interface for creating a new user. At the top, there is a header with the IRSST logo and the text 'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail'. Below the header, there is a navigation bar with 'Accueil' and 'Administration' links. The main content area is titled 'Ajouter un nouvel utilisateur' and contains a form with the following fields: '*Login:', '*Prénom:', '*Nom:', '*Adresse courriel:', and '*Profil:' (with a dropdown menu set to 'administrateur'). There are 'Enregistrer' and 'Annuler' buttons at the bottom of the form. The footer contains the text '© 2008 IRSST - Poly mécanique. Tous droits réservés.'

Figure D.3: Page de création d'un nouvel utilisateur

The screenshot shows a web interface for modifying an existing user. At the top, there is a header with the IRSST logo and the text 'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail'. Below the header, there is a navigation bar with 'Accueil' and 'Administration' links. The main content area is titled 'Modifier un utilisateur existant' and contains a form with the following fields: 'Login : e765', 'Prénom : Richard', 'Nom : Lachance', 'Adresse courriel : richard.lachance@compag', and 'Profil : opérateur' (with a dropdown menu). There are 'Enregistrer' and 'Annuler' buttons at the bottom of the form. The footer contains the text '© 2008 IRSST - Poly mécanique. Tous droits réservés.'

Figure D.4: Page de modification d'un utilisateur existant



The screenshot shows a Microsoft Excel window titled "Microsoft Excel - Mon_Oct_06_21_00_41_EDT_2008". The menu bar includes "Fichier", "Edition", "Affichage", "Insertion", "Format", "Outils", "Données", "Fenêtre", "?", and "Adobe". The toolbar contains various icons for file operations and editing. The active cell is C23. The spreadsheet contains the following data:

	A	B	C	D	E	F
1	Lot #		Opération	Opérateur	Date et heure	
2	1	1	Extinction de la machine	Richard Lachance	05/10/2008 08:00:43	
3	1	2	Fermeture du disjoncteur	Richard Lachance	05/10/2008 08:02:15	
4	1	3	Installation du cadenas	Richard Lachance	05/10/2008 08:05:07	
5	1	4	Fermeture de la valve d'eau	Richard Lachance	05/10/2008 08:07:59	
6	1	5	Test de redémarrage	Richard Lachance	05/10/2008 08:10:59	
7	1	6	Installation de la cale	Richard Lachance	05/10/2008 08:12:00	
8	2	7	Extinction de la machine	Richard Lachance	06/10/2008 17:55:00	
9	2	8	Fermeture du disjoncteur	Richard Lachance	06/10/2008 18:00:02	
10	2	9	Installation du cadenas	Richard Lachance	06/10/2008 18:01:59	
11	2	10	Fermeture de la valve d'eau	Richard Lachance	06/10/2008 18:04:17	
12	2	11	Test de redémarrage	Richard Lachance	06/10/2008 18:05:48	
13	2	12	Installation de la cale	Richard Lachance	06/10/2008 18:09:58	
14						

Figure D.5: Exemple du rapport généré sous format Excel

ANNEXE E : SPECIFICATIONS DES CAPTEURS

- 1) Vérificateur de tension : PILZ - Voltage PU3Z - Safety monitoring relays.
http://www.eltron.pl/automatyka/pilz/pdf/przekazniki-bezpieczenstwa/monitoruj%20przekazniki%20bezpieczenstwa/kontrola%20napiecia/PU3Z_GB.pdf
- 2) Capteur de température : Stancor – STC-170 - Disc thermostats, Snap Action Disc Thermostats.
http://www.stancor.com/wrdstc/pdfs/Catalog_2006/Pg_046.pdf
- 3) Capteur de pression Endress+Hauser: Apoelmos- Ceraphant PTP35 - Technical information, - Process pressure, Pressure switch for safe measurement and monitoring of absolute and gauge pressure.
http://www.apoelmos.cz/cz/kat-pdf/3_ceraphant_ptc31_ptp31_ptp35.pdf
- 4) Capteur de proximité : Turck Industrial automation – BI3U-M12-AP6X - Inductive sensors.
http://alpha.octopart.com/TURCK_BI3U-M12-AN6X-H1141.pdf
- 5) Potentiomètre: Novotechnik - GL200-5KOM150 - Hollow-Shaft, Conductive plastic, Potentiometric sensors – GL series.
<http://www.novotechnik.com/catalogs/pdfs/GL.pdf>
- 6) Cadenas électronique : RCI rutherford control - 3510/3510MS cabinet lock - Electrical installation instructions.
http://www.rutherfordcontrols.com/assets/I_3510.pdf

ANNEXE F : FICHES TECHNIQUES DES MICROCONTROLEURS

- 1) Manuel du microcontrôleur dsPIC30F4011 : Microchip - dsPIC30F4011 (2005) - Data sheet high performance, Digital signal controllers.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70135C.pdf>
- 2) Manuel de la famille des microcontrôleurs dsPIC30F : Microchip - dsPIC30F (2005) - Family overview, dsPIC® High performance, Digital signal controller.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70043F.pdf>
- 3) Manuel de programmation du compilateur MBLAB® C30 : Microchip - MBLAB® C30 (2005) - C Compiler, User's guide.
<http://lsa.epfl.ch/education/courses/MicroInfo/doc/51284D.pdf>
- 4) Manuel du microcontrôleur PIC18F4550: Microchip - PIC18F4550 (2005) - Data sheet, 28/40/44-Pin, High performance, Enhanced flash, USB microcontrollers with nano Watt technology.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632D.pdf>
- 5) Manuel de programmation du compilateur MBLAB® C18 : Microchip - MBLAB® C18 (2005) - C Compiler, User's guide.
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/C18_User_Guide_51288j.pdf
- 6) Manuel de programmation du programmeur PICKit™ 2 : Microchip - PICKit™ 2 (2005) - Microcontroller programmer, User's guide.
<http://www.modtronix.com/products/prog/pickit2/pickit2%20datasheet.pdf>