

Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

RAPPORT R-593



Abatteuses forestières

Dispositifs et circuits de commande relatifs à la sécurité

*Laurent Giraud
Yuvinn Chinniah
Damien Burlet-Vienney
Joseph-Jean Paques
Marina Koutchouk
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

Mission *travaillent pour vous !*

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

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

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

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

Pour en savoir plus

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

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

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

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2008

ISBN : 978-2-89631-333-4 (version imprimée)

ISBN : 978-2-89631-334-1 (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,
décembre 2008



Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches



RAPPORT R-593

Abatteuses forestières

Dispositifs et circuits de commande relatifs à la sécurité

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.

Laurent Giraud et Yuvin Chinniah, Service de la recherche, IRSST

*Damien Burlet-Vienney,
Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST*

Joseph-Jean Paques et Marina Koutchouk, IRSST

*Renaud Daigle,
Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSSST

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

SOMMAIRE

Les abatteuses forestières sont des engins tout-terrains conçus pour évoluer en forêt, qui servent de véhicule moteur pour déplacer une tête d'abattage.

L'utilisation d'abatteuses avec une tête d'abattage multifonctionnelle s'est largement répandue au Québec ces dernières années pour deux raisons :

- Cette méthode d'abattage réduit la machinerie car une seule machine tronçonne et façonne les arbres en billots, là où il en fallait plusieurs avec les anciennes méthodes;
- La méthode d'abattage abîme moins le sol de la forêt car le façonnage des arbres se fait sur place et crée ainsi un tapis végétal.

L'IRSST [1] a lancé une série d'études sur l'abattage mécanisé. Une première étude a démontré par exemple que les accidents en abattage mécanisé sont plus graves que la moyenne [2]. L'abattage mécanisé est ainsi devenu un sujet important ces dernières années avec notamment l'obligation par la Commission de la santé et la sécurité au travail (CSST) d'équiper toutes les machines d'abattage d'un système de cadenassage. Cependant, le cadenassage ne semble pas être utilisé dans toutes les situations. Cette activité a donc pour objectif d'avoir une image précise de toutes les technologies liées à la sécurité des opérateurs d'abatteuse.

L'étude exploratoire comprend plusieurs étapes. La première a été de prendre contact avec les acteurs de l'industrie de l'abattage mécanisé et de préparer les visites sur le terrain pour recueillir les informations dans les meilleures conditions. Nous avons notamment créé un questionnaire adapté à la problématique et qui a été validé lors de la deuxième étape. Cette deuxième étape se résume en des déplacements à travers le Québec en 2006 chez des distributeurs, dans des centres de formation professionnelle ou encore à une foire d'exposition. La dernière étape consistait à analyser les informations recueillies selon les principes de sécurité des machines utilisés à l'IRSST, principes basés sur des normes internationales en sécurité des machines (ISO et CEI).

Cette étude exploratoire a permis d'établir une liste quasi exhaustive de ce qui se fait actuellement en matière de sécurité sur les abatteuses mécanisées, et aussi de mettre à jour l'utilisation toujours grandissante de l'électronique programmable à bord de ces engins forestiers. Nous avons pris conscience de l'omniprésence de systèmes tels que les microcontrôleurs et les bus CAN (Controller Area Network) pour le traitement des informations de sécurité.

REMERCIEMENTS

Cette étude exploratoire a fait appel à de nombreux acteurs de l'exploitation forestière. En effet, sans l'aide du personnel (ingénieurs, techniciens, ...) des fabricants, des distributeurs, des centres de formation professionnelle, ce projet n'aurait pas été possible.

Nous tenons à souligner la disponibilité des personnes rencontrées, qui ont toujours fait les efforts nécessaires pour répondre à notre demande et nous guider dans nos démarches. Certaines entrevues ont duré plusieurs heures, nous remercions donc chaleureusement toutes les personnes qui ont donné volontairement de leur temps.

Nous voulons aussi souligner la confiance que certains distributeurs nous ont accordée en nous fournissant les plans des machines et en nous communiquant certaines informations techniques.

Enfin, nous adressons un grand merci à tous ceux et toutes celles qui ont facilité l'avancement de notre étude.

TABLE DES MATIÈRES

1.	Introduction.....	1
2.	Objectifs de recherche.....	3
3.	Méthodologie	5
4.	Abattage mécanisé	7
4.1	Abatteuses forestières et têtes d'abattage	7
4.1.1	Étapes de l'abattage mécanisé d'une tête multifonctionnelle	9
4.1.2	Opérations de maintenance sur les abatteuses	10
4.2	Évolution de l'abattage mécanisé	10
4.3	Accidents liés aux abatteuses.....	11
5.	Sécurité des machines	15
5.1	Principes de gestion du risque.....	15
5.1.1	Appréciation du risque.....	16
5.1.2	Réduction du risque	17
5.2	Normes de référence en sécurité des machines.....	19
5.3	Vocabulaire utilisé	20
5.4	Contexte réglementaire au Québec	21
5.5	Appréciation du risque des abatteuses forestières munies d'une tête multifonctionnelle	23
5.5.1	Phénomènes dangereux et dommages	23
5.5.2	Situation dangereuse	24
5.5.3	Événement dangereux.....	24
6.	Préparation du recensement	25
6.1	Élaboration et validation du questionnaire	25
6.2	Sélection des abatteuses forestières et des constructeurs.....	27
6.3	Collecte des informations	28
7.	Recensement des dispositifs de sécurité	29
7.1	Fonction de sécurité principale	33
7.1.1	Définition	33
7.1.2	Normes associées à ce dispositif de sécurité.....	33
7.1.3	Dispositifs de sécurité recensés	34
7.2	Utilisation du réarmement.....	42
7.2.1	Définition	42
7.2.2	Normes associées à ce dispositif de sécurité.....	42
7.2.3	Dispositifs de réarmement recensés.....	42
7.3	Démarrage.....	46
7.3.1	Définition	46
7.3.2	Normes associées au démarrage	46
7.3.3	Procédures de démarrage répertoriées	47
7.4	Arrêt d'urgence	48

7.4.1	Définition	48
7.4.2	Normes associées à l'arrêt d'urgence	48
7.4.3	Règlement associé à l'arrêt d'urgence	49
7.4.4	Arrêts d'urgence recensés	49
7.5	Dispositifs « sectionneur » d'énergie.....	50
7.5.1	Définition	50
7.5.2	Normes associées à ce dispositif de sécurité.....	50
7.5.3	Dispositifs de sectionnement de l'énergie recensés.....	51
7.6	Cadenassage.....	57
7.6.1	Définition	57
7.6.2	Normes associées au cadénassage	57
7.7	Synthèse	58
8.	Traitement des informations liées à la sécurité.....	61
8.1	Ancienne architecture	61
8.2	Nouvelle architecture	61
8.3	Bus CAN.....	61
8.3.1	Définition du bus CAN	62
8.3.2	Future norme ISO 11783-1	62
8.3.3	Sécuriser le bus CAN.....	63
9.	Conclusion et recommandations	65
10.	Références.....	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les sept étapes principales de l'abattage mécanisé	9
Tableau 2 : Nombre et types de machines forestières au Québec.....	11
Tableau 3 : Résultats de deux extractions de la base de données de la CSST	12
Tableau 4 : Normes internationales reliées aux principes de sécurité des abatteuses forestières..	20
Tableau 5 : Phénomènes dangereux et types de blessures sur les abatteuses forestières	23
Tableau 6 : Étapes de la collecte de données.....	28
Tableau 7 : Résumé de l'échantillon d'abatteuses.....	28
Tableau 8 : Résumé des informations liées à la sécurité des abatteuses forestières	29
Tableau 9 : Résumé du recensement des dispositifs de sécurité.....	31
Tableau 10 : Description des portières.....	35
Tableau 11 : Description des accoudoirs	37
Tableau 12 : Description des sièges.....	38
Tableau 13 : Description des leviers coupe-pilote.....	39
Tableau 14 : Description d'autres leviers coupe-pilote	40
Tableau 15 : Description des portières + accoudoirs	41
Tableau 16 : Description des boutons à action momentanée.....	43
Tableau 17 : Description des boutons à deux positions.....	44
Tableau 18 : Description des procédures de réarmement	45
Tableau 19 : Description des procédures de démarrage	47
Tableau 20 : Description des boutons d'arrêt d'urgence	50
Tableau 21 : Description des robinets à tournant sphérique manuels.....	51
Tableau 22 : Description d'autres robinets à tournant sphérique manuels	52
Tableau 23 : Description des sélectionneurs hydrauliques	53
Tableau 24 : Description des coupe-batteries	54
Tableau 25 : Description des coupe-fuel	55
Tableau 26 : Description des coupe-démarrateurs.....	56
Tableau 27 : Résumé du recensement des dispositifs de sécurité.....	58
Tableau 28 : Recommandations.....	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Exemples d'abatteuses forestières	1
Figure 2 : Exemples de têtes d'abattage multifonctionnelles	1
Figure 3 : Composantes d'une abatteuse forestière	7
Figure 4 : Composantes d'une tête d'abattage multifonctionnelle.....	8
Figure 5 : Quelques étapes de l'abattage mécanisé	9
Figure 6 : Volume de bois récolté selon le mode d'exploitation	10
Figure 7 : Évolution des modes d'exploitation dans les forêts du domaine de l'état.....	11
Figure 8 : Démarche d'appréciation et de réduction du risque	15
Figure 9 : Interrupteurs électromécaniques de position au niveau des portières	34
Figure 10 : Interrupteur de position contourné à l'aide d'une lanière.....	35
Figure 11 : Bouton à action momentanée	36
Figure 12 : Accoudoir levé puis baissé.....	37
Figure 13 : Capteur inductif sous le siège.....	38
Figure 14 : Levier coupe-pilote.....	39
Figure 15 : Levier coupe-pilote hydraulique à action mécanique.....	40
Figure 16 : Abatteuse L - interrupteurs électromécaniques de portière et d'accoudoir.....	41
Figure 17 : Boutons à action momentanée pour le réarmement	43
Figure 18 : Frein de parking jouant le rôle d'un réarmement.....	44
Figure 19 : Boutons à impulsion sur les leviers de commande utilisés lors du réarmement	45
Figure 20 : Exemples de démarreur à clé sur les abatteuses.....	47
Figure 21 : Boutons d'activation d'ordinateur protégé (droite) ou cadenassable (gauche)	48
Figure 22 : Échantillon d'arrêts d'urgence recensés sur les abatteuses.....	49
Figure 23 : Échantillon de robinets à tournant sphérique pour la tête	51
Figure 24 : Autres robinets à tournant sphérique pour le pilote hydraulique	52
Figure 25 : Sélectionneurs identifiés.....	53
Figure 26 : Coupe-batterie fixe, fixe cadenassable et mobile.....	54
Figure 27 : Coupe-fuel à 2 positions.....	55
Figure 28 : Coupe-démarreur.....	56

1. INTRODUCTION

Les abatteuses forestières (Figure 1) sont des engins tout-terrains conçus pour évoluer en forêt.



Figure 1 : Exemples d'abatteuses forestières

Elles servent à déplacer une tête d'abattage. L'utilisation d'abatteuses avec une tête d'abattage multifonctionnelle (Figure 2) s'est largement répandue au Québec ces dernières années.



Figure 2 : Exemples de têtes d'abattage multifonctionnelles

En effet, cette méthode d'abattage réduit la machinerie : une seule machine tronçonne et façonne les arbres en billots, là où il fallait deux machines auparavant : une abatteuse à tête groupeuse et une ébrancheuse. De plus, le façonnage des arbres dans le sentier utilisé par les machines diminue le risque de perturbation du sol par la création d'un tapis végétal.

La problématique de sécurité liée aux abatteuses est principalement due au fait que :

- Le parc d'abatteuses forestières est très hétéroclite;
- Il est possible de monter une tête d'abattage multifonctionnelle d'un fabricant A sur une abatteuse forestière d'un fabricant B ou sur un véhicule muni d'un bras hydraulique;
- Les abatteuses forestières sont soumises à diverses exigences de sécurité compte tenu de la mondialisation des marchés des fabricants d'abatteuses et de têtes d'abattage;
- Les propriétaires peuvent modifier leurs abatteuses forestières, surtout lorsqu'elles ne sont plus sous garantie;

- Les opérateurs contournent parfois les dispositifs de protection électromécaniques pour certaines interventions;
- Les interventions à proximité de la tête d'abattage peuvent se faire à plusieurs personnes (l'opérateur est aidé par une ou deux autres personnes).

Toutes ces causes ne facilitent donc vraiment pas la standardisation des mesures de sécurité.

C'est pour cela que l'IRSST a lancé une série d'études sur l'abattage mécanisé. Le rapport R-408 [2] sur l'entretien des têtes d'abattage en est le premier jalon. Une seconde étude (en cours) concerne l'étude du travail réel d'abattage mécanisé et les possibilités de réduction du risque d'une opération de maintenance, le réglage des pressions. La troisième étude présentée ici permet de compléter nos connaissances par le recensement des dispositifs, moyens et circuits de commande relatifs à la sécurité disponibles sur les abatteuses forestières au Québec. Toutes ces études permettent une meilleure compréhension de ces machines et des risques de santé et sécurité du travail qui leur sont associés.

Cette série d'études sur l'abattage mécanisé est d'autant plus pertinente qu'il a été démontré que les accidents en abattage mécanisé au Québec sont plus graves que la moyenne [2] et que la CSST oblige, depuis avril 2004, d'équiper toutes les machines d'abattage d'un système de cadenassage. Cependant, le cadenassage ne semble pas être utilisé dans toutes les situations. La présente activité de recherche va donc permettre de recenser les technologies disponibles servant à assurer la sécurité des opérateurs d'abatteuses forestières utilisant essentiellement une tête d'abattage multifonctionnelle.

2. OBJECTIFS DE RECHERCHE

Cette activité de recherche a pour objectif principal de bien comprendre et de documenter les moyens, dispositifs de protection et circuits de commande relatifs à la sécurité qui existent d'origine sur les abatteuses forestières afin de rendre, à terme, ces machines plus sécuritaires.

L'objectif général se décompose en un certain nombre d'objectifs spécifiques :

- Recensement des dispositifs de protection et circuits de commande relatifs à la sécurité installés d'origine sur les abatteuses forestières au cours de visites sur le terrain;
- Vérification de l'application des principes généraux de sécurité des machines dans les dispositifs de protection et dans les circuits de commande relatifs à la sécurité;
- Établissement d'une liste ordonnée et structurée de ces dispositifs de protection et circuits de commande relatifs à la sécurité;

3. MÉTHODOLOGIE

Cette étude exploratoire compte plusieurs étapes :

- Présenter de façon plus précise ce qu'est une abatteuse forestière, une tête d'abattage multifonctionnelle ainsi que son principe d'utilisation;
- Rappeler les principes de sécurité des machines et de gestion du risque et repérer les risques associés aux abatteuses forestières;
- Sélectionner puis prendre contact avec les acteurs de l'industrie de l'abattage mécanisé et préparer les visites sur le terrain pour recueillir les informations dans les meilleures conditions;
- Réaliser les déplacements à travers le Québec chez des distributeurs, dans des centres de formation professionnelle ou encore à une foire d'exposition pour recueillir toutes les informations nécessaires au projet;
- Créer une liste quasi exhaustive de ce qui se fait actuellement en matière de sécurité sur les abatteuses forestières, suite à l'analyse des informations recueillies selon les principes de sécurité des machines utilisés à l'IRSST, principes basés sur des normes internationales en sécurité des machines (ISO et CEI). L'analyse des données recueillies s'est faite en comparant les données avec les principes de sécurité des machines expliqués dans les normes internationales. Les éléments utilisés pour la comparaison sont détaillés au chapitre 7.
- Donner de l'information sur l'électronique programmable à bord de ces engins forestiers. En effet, il existe une utilisation toujours grandissante de ces systèmes, tels que les microcontrôleurs et les bus CAN (Controller Area Network) pour le traitement des informations de sécurité.

Toutes ces étapes vont conduire à créer une liste quasi exhaustive de ce qui se fait actuellement en matière de sécurité sur les abatteuses mécanisées. Des recommandations vont être formulées pour améliorer la sécurité de ces abatteuses forestières.

4. ABATTAGE MÉCANISÉ

4.1 Abatteuses forestières et têtes d'abattage

Les abatteuses forestières sont des engins tout-terrains qui évoluent en forêt. L'abatteuse forestière sert à transporter la tête d'abattage, tête groupeuse ou multifonctionnelle, qui vient en contact avec l'arbre pour le couper et le façonner au besoin.

La Figure 3 illustre les différentes parties d'une abatteuse forestière.

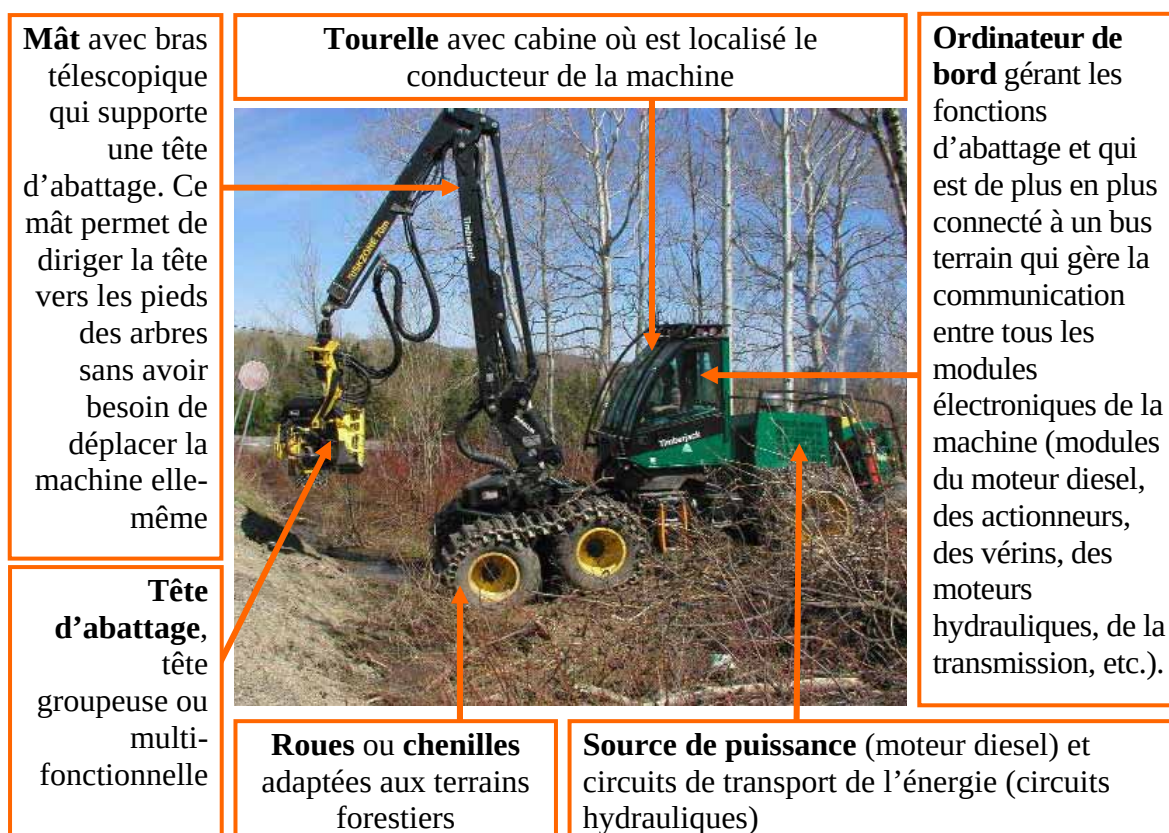


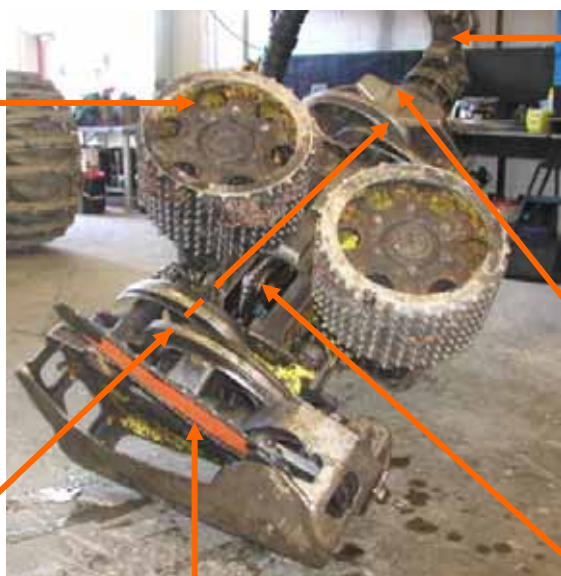
Figure 3 : Composantes d'une abatteuse forestière

La Figure 4 illustre les différentes parties d'une tête d'abattage multifonctionnelle.

Vérin de basculement de la tête ou d'inclinaison (non visible, en arrière de la tête): ce vérin peut être conçu pour exécuter une simple action ou une double action. Lorsqu'il est à simple action, le vérin d'inclinaison ne fait que relever la tête d'abattage de sa position d'équilibre (position horizontale) pour la mettre en position verticale afin de pouvoir saisir l'arbre et le couper. Une fois l'arbre coupé, le vérin est mis hors pression, ce qui permet à l'arbre de tomber grâce à son propre poids tout en entraînant la tête en position horizontale. Lorsque le vérin est à double effet, le vérin d'inclinaison peut exercer une poussée sur l'arbre pour le faire tomber dans la direction choisie, mais l'arbre est toujours façonné en position horizontale. Dans les deux cas, lorsque le vérin n'est pas activé, la tête se met naturellement à l'horizontale (position d'équilibre).

Rouleaux d'alimentation :

permettent à la fois de déplacer l'arbre dans la tête et de le maintenir lors de l'ébranchage. Leur mouvement est réalisé grâce à des moteurs hydrauliques bidirectionnels. Ils peuvent entraîner l'arbre à une vitesse de 1 à 5 m/s.



Flèche et rotateur : la flèche relie la tête au mât de l'abatteuse. Le rotateur permet de faire pivoter la tête suivant un axe vertical. La tête d'abattage est libre selon les deux axes horizontaux.

Couteaux d'ébranchage fixes : les couteaux d'ébranchage fixes permettent d'enlever les branches de l'arbre dans la partie du tronc appuyée sur la partie supérieure fixe de la tête.

Couteaux d'ébranchage mobiles :

les couteaux d'ébranchage mobiles servent dans un premier temps à maintenir fermement la tête le long de l'arbre lors de l'abattage. Ensuite, lors de l'opération d'ébranchage, les couteaux sont maintenus le long du tronc avec peu de pression pour laisser glisser l'arbre et couper les branches. Ils sont de nouveau resserrés lors de la coupe du tronc aux longueurs nécessaires.

Carter et lame de scie : la lame de scie supporte et dirige la chaîne qui va tronçonner l'arbre. La tension de la chaîne est donnée par un tendeur manuel ou par un tendeur à gaz (de plus en plus rare) ou par un tendeur hydraulique branché sur le système hydraulique de la tête d'abattage. Lorsque l'opérateur actionne la commande de coupe de l'arbre, la chaîne est entraînée en rotation par un moteur hydraulique

Roue de mesure : la roue mesure la longueur de la bille à couper. La roue est en contact avec la grume lors de l'ébranchage et sa rotation entraîne un encodeur qui génère des impulsions qui sont envoyées à l'ordinateur de bord.

Figure 4 : Composantes d'une tête d'abattage multifonctionnelle

4.1.1 Étapes de l'abattage mécanisé d'une tête multifonctionnelle

L'abattage d'un arbre peut se faire de trois façons différentes suivant les machines utilisées, soit :

- **par arbre entier** : arbre débardé avec ses branches;
- **par tronc entier** : arbre ébranché et écimé sur le parterre de coupe;
- **par bois tronçonné** : arbre ébranché et tronçonné en billes sur le parterre de coupe.

Le cas, qui nous intéresse le plus pour notre part, est l'abattage d'un arbre à l'aide d'une abatteuse forestière à tête multifonctionnelle, soit par bois tronçonné. Dans ce cas, l'abattage se déroule en sept étapes principales, décrites au Tableau 1 et dont quelques étapes sont illustrées à la Figure 5.

Tableau 1 : Les sept étapes principales de l'abattage mécanisé

Etape	Description
Positionnement	Positionnement de la tête à la verticale à l'aide des commandes en cabine.
Identification	Identification de l'arbre à couper et positionnement de la tête à la base du tronc.
Serrage	Serrage de l'arbre avec les couteaux mobiles et les rouleaux d'entraînement de la tête : la tête devient alors solidaire de l'arbre.
Sciage	Sciage de l'arbre à sa base et basculement de l'arbre à l'horizontale (sous son propre poids) avec la tête toujours solidaire.
Ébranchage	Léger desserrage des couteaux mobiles et avancement de l'arbre entre les couteaux d'ébranchage par les rouleaux d'entraînement, ce qui a pour effet d'ébrancher l'arbre.
Tronçonnage	Arrêt de l'avancement lorsque la longueur désirée est atteinte et tronçonnage du tronc avec la scie pour façonner le billot.
Arrêt	Arrêt du façonnage des billots lorsque le diamètre du tronc est trop petit. Dépôt de la cime de l'arbre au sol.



Figure 5 : Quelques étapes de l'abattage mécanisé

4.1.2 Opérations de maintenance sur les abatteuses

En forêt, un opérateur intervient le plus souvent seul sur une tête d'abattage pour effectuer différentes opérations de maintenance corrective ou préventive. Pour certaines seulement, il peut être nécessaire que deux mécaniciens travaillent en même temps, par exemple pour effectuer le réglage des pressions maximales sur les valves de la tête d'abattage. Les opérations de maintenance les plus courantes sont :

- Changer ou remplacer la **chaîne de scie** : au cours de l'abattage, la chaîne s'use et doit être remplacée, ou elle peut se casser ou dérailler. Il faut alors que l'opérateur se déplace jusqu'à la tête pour intervenir;
- Réparer une défaillance sur les **flexibles hydrauliques**;
- Effectuer de **l'entretien préventif** comme par exemple le graissage;
- Effectuer des réparations suite à des **défaillances** diverses (mécanique, électrique, etc.).

4.2 Évolution de l'abattage mécanisé

Au cours des vingt dernières années, la mécanisation des opérations forestières a fortement progressé au Québec [4-9]. La Figure 6 présente la répartition du mode d'exploitation en forêts publiques selon les années.

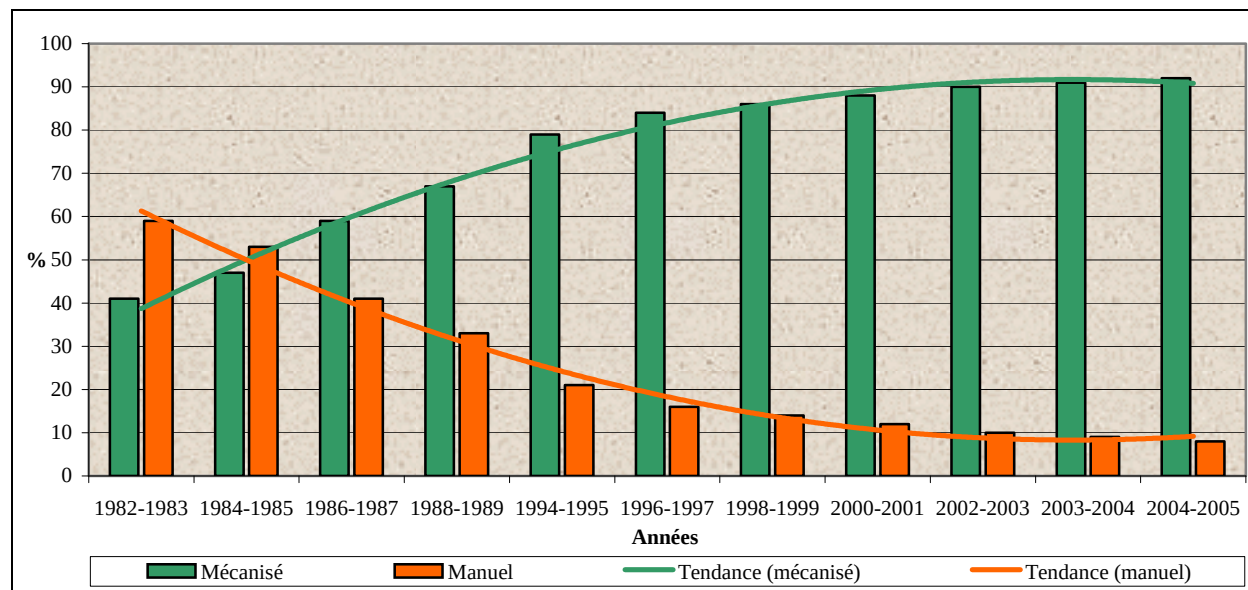


Figure 6 : Volume de bois récolté selon le mode d'exploitation

Au début des années 1980, l'abattage mécanisé (en vert sur la figure précédente) représentait 41 % du volume de bois récolté au Québec. Cette proportion n'a cessé d'augmenter pour atteindre 92 % en 2004-2005.

Actuellement, les abatteuses forestières qui sont vendues ne sont plus simplement des machines excavatrices modifiées, mais sont maintenant des machines dédiées à l'abattage (avec des roues ou des chenilles) et conçues spécifiquement pour cet usage. Cependant, de nombreuses machines modifiées sont encore utilisées dans les forêts et le renouvellement se fait graduellement.

Le FERIC (Institut Canadien de Recherche en Génie Forestier) a estimé le nombre et le type de machines forestières utilisées dans les forêts publiques du Québec (Tableau 2). En 2001, le nombre total d'abatteuses était estimé à 603 machines, dont 277 étaient munies de têtes d'abattage multifonctionnelles (abatteuse-façonneuse).

Tableau 2 : Nombre et types de machines forestières au Québec

Types de têtes d'abattage	Quantité
Abatteuse-groupeuse	307
Abatteuse-façonneuse	277
Mini abatteuse	12
Tête directionnelle	5
Abatteuse	2

Lors de la saison 2004-2005 [9] la quantité de bois récolté par des abatteuses-façonneuses (bois tronçonné) égalait presque la quantité de bois récolté par des abatteuses-groupeuses (arbre entier), alors qu'il y a cinq ans, le volume récolté par tronc entier représentait 3,5 fois le volume récolté par bois tronçonné (Figure 7). L'utilisation de plus en plus significative des abatteuses forestières munies de têtes d'abattage multifonctionnelles est la raison pour laquelle nous continuons à nous intéresser à ce type de machines.

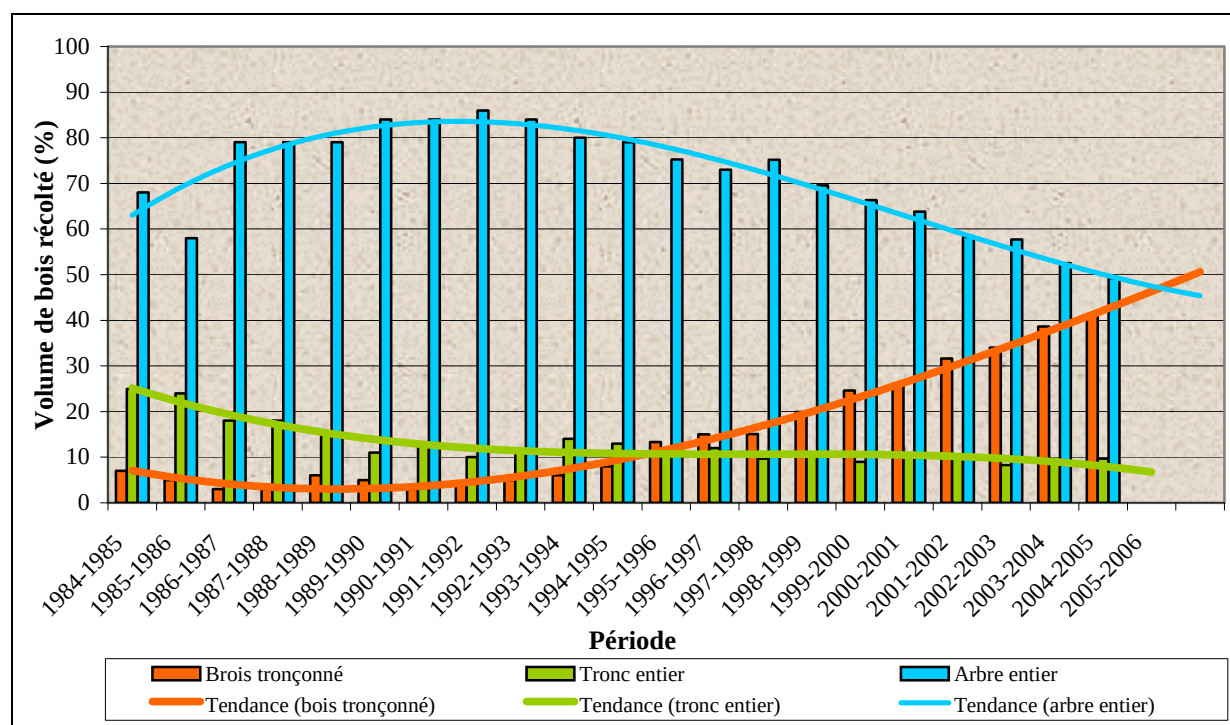


Figure 7 : Évolution des modes d'exploitation dans les forêts du domaine de l'état

4.3 Accidents liés aux abatteuses

Un premier bilan sur les accidents récents dans le secteur de l'abattage mécanisé a été publié dans un rapport de recherche précédent [2].

Depuis, la situation ne semble pas avoir évolué sensiblement et quelques accidents graves et mortels ont encore été recensés au Québec. Voici quelques exemples :

- À la fin de l'année 2000, un travailleur a perdu la vie lors d'un changement de lame de scie sur une tête d'abattage;
- Quelques jours après, un autre travailleur a subi de nombreuses blessures aux membres supérieurs et au visage lorsqu'il a été entraîné par les rouleaux d'alimentation (d'entraînement) d'une abatteuse, a fait un tour dans la tête d'abattage puis a été éjecté à quelques mètres;
- En 2004, un opérateur subit des blessures graves lorsqu'il se fait coincer par les pinces de la tête d'abattage lors d'une opération de maintenance;
- En 2006, un opérateur d'abatteuse se fait écraser la jambe par les pinces de la tête d'abattage lors d'une intervention sur la lame de scie;
- En 2007, un opérateur décède lors d'une intervention de maintenance sur la roulette de mesurage [10].

De façon plus globale, les travailleurs de l'industrie forestière ont déclaré plus de 1 200 lésions professionnelles à la CSST en 1994. Près de 60 % de ces événements sont survenus uniquement dans le sous-secteur de l'abattage [11].

Deux extractions rapides de la base de données de la CSST ont été réalisées pour les années 1995 à 2000 (Tableau 3).

Tableau 3 : Résultats de deux extractions de la base de données de la CSST

	Extraction (a)	Extraction (b)
Nombre d'accidents	76	283
Nombre d'accidents retenus	18	28
Nombre de jours d'arrêt	3 116	4 463
Déboursé total (\$)	348 000	466 000
Dépenses par accident (\$)	19 330	16 642

La première extraction (a) concerne les années 1995 à 2000, avec l'agent causal défini comme « machinerie forestière » (compris entre 32300 et 32390), classée comme « exploitation forestière » (CAEQ 0411) dans les unités CSST « opérations forestières ou transformation en bois d'oeuvre avec exploitation forestière » (12010, 14010 ou 23020). Cette première extraction a permis de répertorier 76 accidents, dont 18 sont décrits comme « Coincé ou écrasé par de l'équipement ou des objets » ou « Coincé par de l'équipement ou de la machinerie en marche ». Ces 18 accidents totalisent plus de 3 100 jours d'arrêt pour un coût total de 348 000 \$, ce qui représente 173 jours d'arrêt et 19 300 \$ par accident.

La seconde extraction (b) concerne aussi les années 1995 à 2000, avec l'agent causal défini comme « machinerie forestière » (compris entre 32300 et 32390) auquel sont ajoutés les camions (82500 à 82900), les VTT (84000 à 84900) et les véhicules mécaniques d'usine ou industriels (85000 à 85900). Le classement précédent est complété par les « services forestiers » (CAEQ 0511) qui sont répertoriés par la CSST dans l'unité « travaux sylvicoles » (12020). Cette deuxième extraction a permis de répertorier 283 accidents, dont 28 sont décrits comme « Coincé ou écrasé par de l'équipement ou des objets » ou « Coincé par de l'équipement ou de la

machinerie en marche ». Ces 28 accidents totalisent plus de 4 400 jours d'arrêt pour un coût total de 466 000 \$, ce qui représente 159 jours d'arrêt et 16 600 \$ par accident.

La gravité exprimée dans ces statistiques officielles est sans conteste très préoccupante. Les accidents ont créé une dépense moyenne de 18 000 \$, ce qui équivaut à quatre fois plus que la moyenne par accident au Québec, tous secteurs confondus. De plus, il apparaît que les accidents avec du matériel mécanisé en forêt sont plus importants que la majorité des accidents avec des presses à métal, machine reconnue pourtant depuis longtemps comme très dangereuse.

L'étude des rapports d'accident de la CSST et des rapports disponibles sur les accidents en abattage mécanisé [11-14] permet de faire ressortir certaines circonstances communes qui ont conduit à des accidents (causes retenues par la CSST) :

- Majorité des accidents lors d'une opération de maintenance, que se soit sur la scie ou sur l'hydraulique de l'abatteuse forestière;
- Manque de procédures sécuritaires pour les opérations de maintenance;
- Manque d'expérience des opérateurs;
- Fatigue et inattention dues aux cadences élevées.

5. SÉCURITÉ DES MACHINES

L'objectif de la sécurité des machines est de contribuer au développement et à l'application de connaissances touchant les méthodes et outils d'appréciation et de réduction du risque, les méthodes et outils d'évaluation de la fiabilité ainsi que la conception de solutions permettant de réduire les risques associés aux machines industrielles.

5.1 Principes de gestion du risque

La gestion du risque est constituée de deux grandes étapes (Figure 8, [15]) appelées « appréciation du risque » dans la norme ISO 14121 [16] et « réduction du risque » dans les normes ISO 12100-1 et ISO 12100-2 [17, 18].

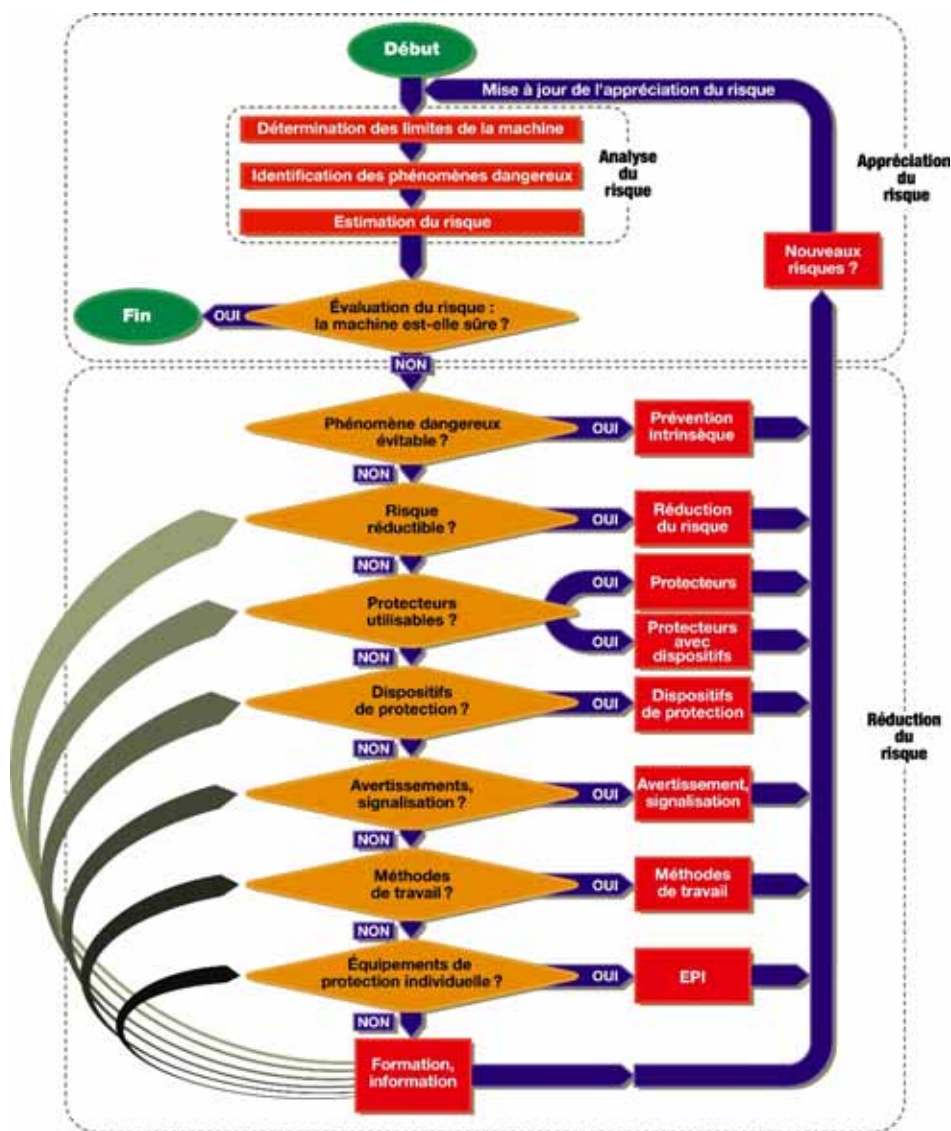


Figure 8 : Démarche d'appréciation et de réduction du risque

5.1.1 Appréciation du risque

L'appréciation du risque, qui comprend l'analyse du risque et l'évaluation du risque, est le préalable à toute action de réduction du risque. De façon générale, toute amélioration de la sécurité d'une machine commence par une appréciation du risque qui est constituée d'une analyse du risque suivie d'une évaluation du risque.

L'analyse du risque est composée de trois phases :

- détermination des limites de la machine;
- repérage (ou identification) des phénomènes dangereux ;
- estimation du risque.

Ces trois phases sont décrites en détail dans les paragraphes suivants.

Détermination des limites de la machine

La toute première phase de la démarche de gestion du risque est celle où l'on doit déterminer les balises de l'appréciation du risque. À la fin de cette phase, on devra être en mesure de documenter les conditions dans lesquelles la machine sera utilisée : qui utilisera la machine, pour combien de temps, avec quels matériaux, etc. On détaillera également les phases de vie de la machine (installation, utilisation, déblocage, entretien et mise au rebus), les conséquences des mauvais usages et des défaillances raisonnablement prévisibles, ainsi que le niveau attendu d'expérience des utilisateurs.

Ce n'est qu'une fois ces conditions déterminées que le repérage des phénomènes dangereux et l'estimation du risque peuvent débuter.

Repérage des phénomènes dangereux

Les phénomènes dangereux sont à l'origine de toutes les situations dangereuses. Exposé à un phénomène dangereux, un travailleur se trouve en situation dangereuse et l'apparition d'un événement dangereux peut mener des dommages.

Le repérage des phénomènes dangereux est l'étape la plus importante dans la démarche de gestion du risque. Les phénomènes dangereux de toutes origines doivent être minutieusement répertoriés. Pour cela, il peut être utile d'utiliser le document de la CSST [15].

Qu'il s'agisse de pièces en mouvement (phénomènes dangereux mécaniques), d'éléments sous tension (phénomènes dangereux électriques), de parties de machine trop chaudes ou trop froides (phénomènes dangereux thermiques), de bruit, de vibrations, de rayonnements visibles (laser) ou invisibles (électromagnétique), de matières dangereuses ou du non respect des principes ergonomiques : la liste de toutes les sources d'énergie ou d'interface homme-machine qui peuvent porter atteinte à la santé et à la sécurité des travailleurs exposés doit être dressée avec soin. On associera ensuite ces phénomènes dangereux aux situations dangereuses auxquelles les travailleurs sont exposés.

Estimation du risque

L'estimation du risque consiste à comparer les différentes situations dangereuses identifiées. Cette comparaison relative permettra, par exemple, d'établir une priorité d'action.

Le risque est défini comme étant la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité, selon l'ISO 14121 [16]. La probabilité d'occurrence du dommage peut être scindée en trois parties :

1. la fréquence et la durée d'exposition au phénomène dangereux (F),
2. la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux (O);
3. la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage (P).

Pour faciliter cette estimation, un indice de risque peut être défini. Une fois cet indice établi, une comparaison globale et relative de chaque situation dangereuse pourra être effectuée et des mesures correctives pourront être décidées sur une base objective. Les documents de l'IRSST et de la CSST [15] ainsi que ED807 de l'INRS [19] proposent des plages de valeurs pour les composants du risque. Une fois ces plages de valeurs définies, il est alors possible d'utiliser des outils d'estimation du risque.

Évaluation du risque

La dernière étape dans le processus d'appréciation du risque consiste à porter un jugement sur le niveau de risque estimé. C'est à cette étape que l'on détermine si ce risque est tolérable ou non. Lorsque le risque est jugé intolérable (indice de risque élevé), des mesures de réduction du risque devront être choisies et mises en œuvre. Afin de s'assurer que les solutions choisies permettent d'atteindre les objectifs de réduction du risque sans créer de nouvelles situations à risque, la procédure d'appréciation du risque devra être répétée une fois les solutions implantées.

5.1.2 Réduction du risque

Une fois l'étape de l'appréciation du risque terminée et que l'évaluation prescrit une réduction du risque, les moyens qui doivent être mis en œuvre pour atteindre les objectifs de réduction du risque doivent être choisis. La Figure 8 précédente illustre aussi la hiérarchie des moyens de réduction du risque.

Élimination du phénomène dangereux et réduction du risque

L'élimination du phénomène dangereux est l'objectif principal. Cette piste de solution préconise l'élimination du phénomène et est appelée prévention intrinsèque : « *La prévention intrinsèque constitue la première et la plus importante étape de réduction du risque (...) consiste à éviter les phénomènes dangereux ou à réduire les risques par un choix judicieux des caractéristiques de conception de la machine (...)* » (article 4.1 de la norme ISO 12100-2 [18]).

C'est donc par la conception de la machine que la sécurité est obtenue. Le concepteur cherchera à améliorer les caractéristiques de la machine : écartement des pièces mobiles pour

éliminer les zones de coincement, suppression des arêtes vives, limitation des efforts d'entraînement ou limitation de l'énergie (masse, vitesse, accélération) des éléments mobiles, substitution de produits dangereux par des produits non dangereux, limitation du bruit à la source, etc.

Protecteurs et dispositifs de protection

Les protecteurs, qu'ils soient fixes ou équipés de dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage, figurent tout juste après la prévention intrinsèque en terme d'efficacité dans la hiérarchie des moyens de réduction du risque. Viennent ensuite les dispositifs de protection tels que les barrages immatériels, les tapis sensibles, les détecteurs surfaciques et autres commandes bimanuelles. Le document « Amélioration de la sécurité des machines par l'utilisation des dispositifs de protection » [20] présente une introduction à l'utilisation de ces dispositifs.

Protecteurs fixes et protecteurs avec dispositifs

L'un des meilleurs moyens de réduire l'exposition au phénomène dangereux est d'en empêcher l'accès par l'installation d'un protecteur. Idéalement, celui-ci sera « fixe » et l'on devra utiliser un outil pour le retirer [21]. Cependant, il arrive que l'on doive ouvrir le protecteur pour avoir accès périodiquement à la zone dangereuse, par exemple, pour des besoins de production, de dégagement ou de maintenance.

Ces protecteurs « mobiles » (avec dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage) devront donner un signal d'arrêt à la machine, dès qu'ils sont ouverts [22]. Si le temps d'arrêt de la machine est suffisamment court pour que les mouvements dangereux cessent avant que le travailleur ne puisse l'atteindre, un dispositif de verrouillage sera utilisé. Si, par contre, le temps d'arrêt des mouvements dangereux est plus long, on utilisera un dispositif d'interverrouillage qui, en plus de remplir les fonctions du dispositif de verrouillage, bloquera le protecteur en position fermée jusqu'à ce que les mouvements aient complètement disparu.

Dispositifs de protection

Si l'utilisation d'un protecteur, qu'il soit fixe ou mobile, n'est pas envisageable, on déterminera si l'utilisation d'un dispositif de protection l'est. On désigne les dispositifs de protection comme tout autre moyen de protection, autre qu'un protecteur. Il peut s'agir, par exemple, d'un dispositif de protection optoélectronique (barrage immatériel, détecteur surfacique), d'une commande bimanuelle, d'un dispositif de validation, d'un tapis sensible, etc. Ces dispositifs sont conçus spécifiquement pour réduire le risque associé à une situation dangereuse en réduisant la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux. C'est à ce niveau que se situent les dispositifs de sécurité étudiés au cours de cette recherche.

Avertissements, méthodes de travail et équipements de protection individuelle

Les procédures, les avertissements, les méthodes de travail et les équipements de protection individuelle figurent aux rangs inférieurs. Bien qu'essentiels dans des situations où aucune autre solution ne semble apporter de résultats suffisants, leurs effets sur l'amélioration de la sécurité sont jugés de moindre importance. Ils sont souvent utilisés en complément avec

d'autres moyens de réduction du risque. Dans tous les cas où le phénomène dangereux n'aura pu être éliminé, une formation devra être donnée aux travailleurs afin de les informer de la nature du risque résiduel auquel ils sont exposés et des moyens de réduction installés pour y parer.

5.2 Normes de référence en sécurité des machines

Les principes universels de sécurité des machines sont souvent bien détaillés dans des normes. Les législations reprennent par la suite ces principes généraux et les adaptent souvent au contexte.

Les normes de référence en sécurité des machines sont nombreuses (ISO, CEI, CEN, CSA, ANSI, ASME, etc.). Les normes ISO et CEN sont structurées de la manière suivante selon la norme ISO 18569 [23]:

1. Normes de type A (normes fondamentales de sécurité), qui précisent des notions fondamentales, des principes de conception et des aspects généraux relatifs aux machines.
2. Normes de type B (normes génériques de sécurité), qui traitent d'un aspect de la sécurité ou d'un type de dispositif conditionnant la sécurité et valable pour toutes les machines ou pour la majorité d'entre elles :
 - Normes de type **B1**, qui traitent d'aspects particuliers de la sécurité (par exemple, distances de sécurité, températures de surface, etc.);
 - Normes de types **B2**, qui traitent de dispositifs qui conditionnent la sécurité (par exemple, commandes bimanuelles, dispositifs de verrouillage, dispositifs sensibles, etc.)
3. Normes de type C (normes de sécurité par catégorie de machines), qui traitent des prescriptions de sécurité détaillées qui s'appliquent à une machine particulière ou à un groupe de machines particulier. Par ailleurs, lorsque des dispositions contenues dans des normes de type C diffèrent de celles indiquées dans des normes de type A ou B, les dispositions de la norme de type C prévalent.

Dans le cas des abatteuses forestières, le Tableau 4 cite les principales normes internationales applicables.

Tableau 4 : Normes internationales reliées aux principes de sécurité des abatteuses forestières

NORME	TYPE	TITRE	RÉFÉRENCE
ISO 11850	C	Matériel forestier - Machines automotrices - Prescriptions de sécurité	[24]
ISO 11783	C	Tracteurs et matériels agricoles et forestiers - Réseaux de commande et de communication de données en série <i>Norme en cours d'élaboration</i>	[25]
ISO 12100-1	A	Sécurité des machines : Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 1 : terminologie de base, méthodologie	[17]
ISO 12100-2	A	Sécurité des machines : Notions fondamentales, principes généraux de conception –Partie 2 : principes techniques	[18]
ISO 13849-1	B	Sécurité des machines : Parties des systèmes de commande relatifs à la sécurité - Partie 1 : principes généraux de conception	[26]
ISO 13849-2	B	Sécurité des machines : Parties des systèmes de commande relatifs à la sécurité –Partie 2 : validation	
ISO 14118	B	Sécurité des machines : Prévention de la mise en marche intempestive	[27]
ISO 14119	B	Sécurité des machines : Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs -principes de conception et de choix	[28]
ISO 14121	A	Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque	[16]
ISO 25119	C	Sécurité des machines : Sécurité relative à la partie de commande automatique <i>Norme en cours d'élaboration</i>	[29]
CEI 60947-5-1	-	Appareillage à basse tension – Partie 5-1: Appareils et éléments de commutation pour circuits de commande – Appareils électromécaniques pour circuits de commande	[30]
CEI 60204-1	-	Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 1: Règles générales	[31]

5.3 Vocabulaire utilisé

Voici quelques définitions tirées de normes qui permettront de clarifier certains termes utilisés dans la suite de ce rapport.

Actionnement positif (selon ISO 14119 [28]) : L'action positive est obtenue « si un organe mécanique en mouvement entraîne inévitablement un autre organe, par contact direct ou intermédiaire d'éléments rigides ». Ce principe d'action mécanique positive doit être présent tout au long de la chaîne (du protecteur au contact). Par exemple, lors de l'ouverture d'un protecteur, l'action mécanique doit se répercuter sur l'interrupteur servant à détecter la position du protecteur.

Bouton à impulsion : Bouton (sur les leviers de commande) basé sur le même principe que les boutons à action momentanée.

Bus CAN (Controller Area Network) : Bus de communication série transportant des données ASCII selon un format spécifique.

Cadenassage : Ensemble d'actions et moyens physiques qui permettent de mettre et de maintenir hors d'état de fonctionner un équipement ou une machine de façon à ce qu'un changement d'état de l'équipement ou de la machine, tel que sa remise en marche, la fermeture d'un circuit électrique, l'ouverture d'une vanne, la libération de l'énergie emmagasinée et le

mouvement d'une pièce par gravité, ne puisse survenir sans l'action volontaire de toutes les personnes exposées au danger. Une autre définition, tirée de la norme CSA Z460-05 [32] est similaire : « installation d'un cadenas et 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 et de l'étiquette conformément à la procédure établie. »

Circuit de pilotage hydraulique (ou pilote hydraulique) : Circuit hydraulique utilisé pour commander ou amplifier les signaux de commande des électrovannes de puissance de la machine. Si les commandes de la machine sont hydrauliques, le pilote va commander directement le déplacement des tiroirs des électrovannes de puissance. Si les commandes de la machine sont électriques, les signaux électriques vont actionner la valve pilote hydraulique qui commande le déplacement des tiroirs des électrovannes de puissance. Si on coupe le pilote hydraulique, le circuit de puissance hydraulique ne peut plus être utilisé, mais l'énergie hydraulique reste néanmoins présente.

Contournement : action de neutraliser un dispositif de sécurité de façon délibérée en dérivant ses connections (shuntant) ou en le démontant [33].

Dispositif de verrouillage (selon ISO 12100-1 [17]) : Dispositif de protection mécanique, électrique ou d'une autre technologie, destiné à empêcher certains éléments de la machine de fonctionner dans certaines conditions (généralement tant qu'un protecteur n'est pas fermé).

Interrupteur à action momentanée : Bouton qui revient en position après avoir été actionné (interrupteur à une position stable).

Interrupteur à deux positions : Bouton qui garde sa position après avoir été actionné (souvent des boutons ON/OFF à deux positions stables).

Interrupteur de position : Interrupteur actionné par une partie en mouvement d'une machine, de façon à modifier le circuit électrique.

Ouverture forcée des contacts : c'est l'accomplissement de la séparation des contacts résultant directement d'un mouvement de l'organe de commande et effectuée au moyen de pièces non élastiques. L'ouverture forcée des contacts d'un interrupteur met en œuvre le principe d'actionnement positif.

Redondance : Utilisation de deux ou plusieurs dispositifs basés sur des technologies différentes pour surveiller l'état d'un système. Un contrôleur de discordance qui y est associé, analyse la cohérence des informations de ces dispositifs.

5.4 Contexte réglementaire au Québec

Au Québec, le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) [34] ainsi que le Règlement sur les travaux forestiers (RTF) [35] s'appliquent aux abatteuses forestières. Les articles les plus pertinents du RSST sont les articles 185, 186 et 192 :

Article 185 : *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.*

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

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

Article 192 : Arrêt d'urgence : Sous réserve de l'article 270, toute machine dont le fonctionnement nécessite la présence d'au moins un travailleur doit être pourvue d'un dispositif d'arrêt d'urgence. Ce dispositif arrête la machine, compte tenu de sa nature, dans un temps aussi court que possible, sans risques additionnels. Il possède, de plus, les caractéristiques suivantes :

- 1) *il est situé bien en vue et à la portée du travailleur;*
- 2) *il s'actionne en une seule opération;*
- 3) *il est clairement identifié.*

La remise en fonction du dispositif d'arrêt d'urgence après son utilisation ne doit pas provoquer à elle seule la mise en marche de la machine.

De plus, depuis le début de la saison de coupe 2004 (soit en avril 2004), la CSST a exigé de mettre en place une série de mesures de sécurité sur les abatteuses forestières dans le cadre d'un plan d'action. Ces recommandations, basées sur le RSST, sont :

- S'assurer de la présence d'un dispositif de blocage (cadenassage) sur les têtes d'abattage pour tout travail de réglage, de maintenance ou de réparation;
- Mettre en place des procédures de travail sécuritaires pour tout travail devant s'effectuer en présence d'une zone dangereuse;
- Fournir une formation sur l'application des procédures de travail sécuritaires;
- Obtenir l'approbation par le fabricant ou un ingénieur de l'efficacité du dispositif de blocage.

La mise en conformité des machines a été réalisée depuis et presque toutes les machines, qui oeuvrent actuellement en forêt, sont maintenant munies d'un dispositif d'isolement permettant le cadenassage.

5.5 Appréciation du risque des abatteuses forestières munies d'une tête multifonctionnelle

5.5.1 Phénomènes dangereux et dommages

Les phénomènes dangereux sont des sources potentielles de blessure ou d'atteintes à la santé [17].

Les principaux phénomènes dangereux et les types de blessures (dommages) sur les abatteuses forestières (en dehors des chutes) sont détaillés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Phénomènes dangereux et types de blessures sur les abatteuses forestières

	PHÉNOMÈNES DANGEREUX	DOMMAGES
MÂT	▪ énergie cinétique ▪ énergie potentielle (gravité terrestre)	▪ chocs ▪ écrasement
CHENILLES, ROUES	▪ énergie cinétique ▪ formes dangereuses ▪ chutes	▪ chocs ▪ coupures ▪ écrasement
TÊTE D'ABATTAGE	▪ énergie cinétique ▪ gravité terrestre ▪ formes dangereuses	▪ chocs ▪ coupures ▪ écrasement
ROULEAUX D'ENTRAÎNEMENT	▪ énergie cinétique ▪ formes dangereuses (pointes ou pics) ▪ forces et puissances élevées ▪ vitesse	▪ chocs ▪ coupures ▪ écrasement ▪ entraînement ▪ happement ▪ projections ▪ sectionnement
COUTEAUX D'ÉBRANCHAGE	▪ formes dangereuses (couteaux tranchants) ▪ forces et puissances élevées	▪ chocs ▪ coupures ▪ sectionnement
SCIE	▪ formes dangereuses (scie tranchante) ▪ énergie cinétique ▪ vitesse	▪ coupures ▪ sectionnement

5.5.2 Situation dangereuse

Une situation dangereuse est une situation dans laquelle une personne est exposée à un phénomène dangereux. Malgré l'existence de phénomènes dangereux, cela ne veut pas dire qu'un incident va se produire. En effet, il faut un contexte particulier, en l'occurrence des personnes (opérateurs) qui travaillent sur l'abatteuse forestière ou à proximité.

Ainsi, les situations dangereuses se produisent essentiellement pendant les opérations de maintenance. Deux cas de figure sont présents :

- 1) une personne est impliquée : en général, en forêt, pour réparer un bris sur la scie ou dans le système hydraulique, etc.
- 2) deux personnes ou plus sont impliquées : en général, sur le bord du chemin près des véhicules techniques (camion mécanique), par exemple pour le réglage des pressions hydrauliques pour toute autre opération, qui nécessite la présence de plusieurs personnes. L'un des opérateurs est dans la cabine et l'autre vérifie les pressions des actionneurs de la tête d'abattage. De plus, cette opération de réglage de l'hydraulique nécessite des mouvements de la tête.

5.5.3 Événement dangereux

Un événement dangereux est une circonstance dans laquelle une situation dangereuse peut entraîner une blessure ou une atteinte à la santé. Les événements dangereux peuvent faire suite à un déclenchement d'origine humaine, technique ou organisationnelle.

- 1) une personne est impliquée : un mouvement intempestif dû à de l'énergie résiduelle dans la tête peut se produire. Cela peut être causé par un bris d'hydraulique ou alors l'actionnement d'un capteur sur la tête. Il peut aussi y avoir une fausse manipulation de l'opérateur, notamment lors d'opérations sur la chaîne de la scie.
- 2) deux personnes ou plus sont impliquées : un mouvement intempestif dû à des énergies résiduelles, une fausse manipulation de l'opérateur en cabine provoquant un mouvement de la tête non désiré, une mauvaise communication entre les personnes, etc. peuvent se produire.

6. PRÉPARATION DU RECENSEMENT

Afin de créer une liste quasi exhaustive de ce qui se fait actuellement en matière de sécurité sur les abatteuses forestières, il a été décidé de contacter les acteurs de l'industrie de l'abattage mécanisé et d'aller sur le terrain pour recueillir les informations grâce à un questionnaire adapté à la problématique. Les déplacements à travers le Québec ont été faits chez des distributeurs, dans des centres de formation professionnelle, chez des utilisateurs ainsi qu'à une foire d'exposition.

6.1 Élaboration et validation du questionnaire

Nous avons élaboré notre questionnaire de travail à partir de questionnaires déjà élaborés et utilisés (notamment lors de formation sur la sécurité des machines) dans le champ « Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels » [36]. Le questionnaire décrit ci-dessous a été élaboré dans le but de récolter le maximum d'informations sur le terrain au cours d'une seule visite. Le questionnaire a été modifié et validé lors de l'étude après les deux premières visites : par exemple, les sections portant sur la configuration du bus de terrain et la configuration des ordinateurs de bord ont été ajoutées après la première visite.

PREMIÈRE PARTIE DU QUESTIONNAIRE : CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'ABATTEUSE

- Configuration de la machine au complet :
marque, modèle, année, puissance, moyen de locomotion, etc.
- Configuration de la tête d'abattage :
type, marque, modèle, année, poids, etc.
- Configuration des ordinateurs de bord :
marque, système d'exploitation, commandes, modes de fonctionnement, etc.
- Configuration du bus de terrain :
type de bus, interaction avec la sécurité, protocole de sécurité, etc.

SECONDE PARTIE DU QUESTIONNAIRE : DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ PRÉSENTS

- Démarrage de l'abatteuse et de la tête :
commandes, procédures, etc.
- Dispositifs physiques de protection des commandes :
existence, description, etc.
- Dispositifs de verrouillage au niveau de la portière, de l'accoudoir, par un levier, etc. :
existence, type d'interrupteur (magnétique, électromécanique...), ouverture forcée, actionnement positif, description de l'action de verrouillage, fixation, possibilité de contournement, redondance, transit de l'information, énergies encore disponibles, cadenassable, etc.
- Dispositifs de réarmement :
existence d'un réarmement, procédure, localisation, protection contre les activations intempestives, etc.
- Dispositifs d'arrêt d'urgence :
existence, action, effets, respect des normes, énergies coupées, etc.

- Coupe-batterie :
existence, localisation, effets, cadenassable, etc.
- Coupeur de courant :
existence, localisation, effets, cadenassable, etc.
- Système hydraulique de l'abatteuse et de la tête d'abattage :
nombre de circuits, possibilité de coupure, localisation de l'organe, effets, cadenassable, etc.
- Système pneumatique :
nombre de circuits, possibilité de coupure, localisation de l'organe, effets, cadenassable, etc.
- Alarme / voyants / signalisation :
existence d'alarme, de voyants ou de signalisation relatifs à la sécurité des opérateurs, localisation, description, signification, etc.
- Protecteurs :
existence de protecteurs, localisation, caractéristiques, verrouillage ou interverrouillage associé, zone protégée, etc.
- Dispositifs d'interverrouillage :
description de l'interverrouillage, protecteur associé, commande, transmission de l'information, etc.
- Autres dispositifs non mentionnés précédemment...

De plus, lors de la visite, des photos et un enregistrement vidéo sont aussi pris, afin de préciser certains renseignements et de pouvoir les visualiser lors du traitement sans avoir à retourner sur le terrain. L'utilisation du questionnaire permet de structurer la collecte de données sur les machines, que ce soit chez les distributeurs, dans les centres de formation ou chez les exploitants.

6.2 Sélection des abatteuses forestières et des constructeurs

Depuis les premiers travaux relatifs aux abatteuses forestières utilisant une tête multifonctionnelle [2, 37], le marché de ces machines a évolué. À partir de la veille technique mise en place ces dernières années au sujet de l'abattage mécanisé et des relations nouées avec les acteurs du secteur forestier au Québec (ASSIFQ, FQCF, centres de formation professionnelle en abattage mécanisé, etc.), nous avons décidé de limiter cette étude à dix marques différentes présentes au Québec. Ceci nous permet d'être relativement exhaustifs, tout en sachant que cela ne peut être statistiquement fiable. Ces dix marques, dont certaines sont très fortement implantées dans la province, nous permettent de couvrir la majorité des abatteuses forestières présentes au Québec et ainsi, de former un échantillon représentatif. De plus, nous avons décidé de travailler avec une ou deux abatteuses au plus de chaque marque, étant donné que souvent chaque marque possède sa propre technologie.

Les principales marques spécialisées dans les abatteuses forestières au Québec sont : John Deere, Kesla, Komat'su, Logset, Tanguay/Trans-gesco, Technologies Directes, Tigercat, Timberjack, Timberpro, Ponssé, Prosilva, Valmet (liste non exhaustive).

Pour chaque abatteuse forestière, nous avons vérifié la compatibilité de la machine avec une tête d'abattage multifonctionnelle. Nous avons essayé de disposer de machines différentes tant au niveau du moyen de locomotion (roues, chenilles adaptées au milieu forestier ou chenilles pour travaux civils), que des têtes d'abattage qui pouvaient être installées ou que de la puissance de la machine. Lorsque cela a été possible, nous avons aussi intégré dans les machines étudiées une abatteuse qui avait été modifiée, afin de voir ce qui se faisait en plus sur le terrain.

Compte tenu de la localisation et des caractéristiques des zones forestières au Québec (résineux dans la partie Nord ou Est, feuillus plus au Sud ou à l'Ouest), l'équipe de recherche s'est déplacée dans plusieurs régions pour pouvoir couvrir la diversité du parc des abatteuses forestières. Les régions visitées ont été le Lac Saint-Jean, les Laurentides, le Centre du Québec et la Gaspésie.

Compte tenu du caractère scientifique de cette recherche, les résultats seront présentés de façon anonyme afin de ne pouvoir identifier directement les abatteuses forestières étudiées et leurs constructeurs. Pour cela, chaque machine étudiée sera identifiée par une lettre de l'alphabet. De plus, si le dispositif étudié le permet, alors des dessins ou schémas seront utilisés à la place des photos pour illustrer les informations techniques. Les plans techniques recueillis ne sont pas diffusés et aucune partie de schéma non relative à la sécurité de la machine n'est citée. Néanmoins, et malgré les précautions prises, il est possible que des lecteurs avisés soient capables de reconnaître une machine dans ce rapport de recherche.

6.3 Collecte des informations

Pour obtenir suffisamment d'information, la collecte des informations a nécessité six déplacements. Les entrevues se déroulaient comme suit (Tableau 6) :

Tableau 6 : Étapes de la collecte de données

ÉTAPE	DURÉE	DESCRIPTION
Étape 1	¼ d'heure	Présentation de l'étude : explication aux distributeurs et aux fabricants de notre rôle de recherche (membre de l'IRSST) et explication des objectifs du recensement sans arrière-pensées.
Étape 2	1 heure	Tour de l'abatteuse pour prendre des photos, faire des vidéos et avoir une vision globale des systèmes présents sur la machine.
Étape 3	2 heures	Discussion autour d'une table avec, si possible, un technicien pour nous aider à remplir le questionnaire et avoir des renseignements d'ordre plus technique. La connaissance de la machine avant de remplir le questionnaire nous permettait de sélectionner les questions pertinentes et de passer du temps sur les points plus délicats.
Étape 4	½ heure	Récolte des plans sur les parties concernant la sécurité de l'opérateur. Notamment, des plans hydrauliques et électriques liés au système de sécurité principal.

Les caractéristiques de l'échantillon d'abatteuses peuvent donc se résumer ainsi (Tableau 7) :

Tableau 7 : Résumé de l'échantillon d'abatteuses

NOMBRE DE DÉPLACEMENTS	NOMBRE D'ABATTEUSES	MARQUES DES ABATTEUSES	ANNÉES DES ABATTEUSES	PUISSANCE DES ABATTEUSES	TYPE DE TRACTION	TYPE DE TÊTE D'ABATTAGE
6	13	10 fabricants d'abatteuses (marques européennes, américaines et québécoises)	1998 à 2006	Puissance des moteurs diesels entre 54 HP et 300 HP	10 abatteuses à chenilles et 3 abatteuses à roues	9 abatteuses équipées d'une tête d'abattage multifonctionnelle et 4 abatteuses non équipées de tête d'abattage

7. RECENSEMENT DES DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

Le Tableau 8 énumère les caractéristiques principales des treize abatteuses forestières étudiées.

Tableau 8 : Résumé des informations liées à la sécurité des abatteuses forestières

Machine	A	B	C	D
Année	2005	2005	2006	2004
Type de traction	Chenilles	Chenilles	Chenilles	Chenilles
Bus CAN	IQAN	TMC	IQAN	Aucun
Type de leviers de commande	Tout électrique	Tout électrique	Électrique et hydraulique	Électrique et hydraulique
Fonction de sécurité principale	Interrupteur de portière	Interrupteur sous l'accoudoir	Interrupteur sous l'accoudoir	Interrupteur de portière + bouton coupe-pilote
Actionnement positif	Non	Non	Oui	Non
Ouverture forcée	Non	Oui	Non	Non
Réarmement	Oui	Oui	Non	Oui
Procédure complémentaire	Non	Oui	Non	Non
Arrêt d'urgence	Non	Oui	Oui	Non
Coupe-batterie	Oui	Non	Oui	Oui
Valve hydraulique manuelle	Oui	Non	Oui	Oui
Machine	E	F	G	H
Année	2006	2004	2006	2006
Type de traction	Roues	Chenilles	Chenilles	Roues
Bus CAN	OPTI 4G	IQAN	IQAN	MAXI
Type de leviers de commande	Tout électrique	Tout électrique	Tout électrique	Tout électrique
Fonction de sécurité principale	Capteur inductif sous le siège	Interrupteur lié au levier coupe-pilote	Levier coupe-pilote	Interrupteur de portière
Actionnement positif	Non	Non	Non	Non
Ouverture forcée	Non	?	?	Non
Réarmement	Oui	Non	Non	Oui
Procédure complémentaire	Oui	Non	Non	Non
Arrêt d'urgence	Oui	Non	Non	Oui
Coupe-batterie	Oui	Oui	Oui	Oui
Valve hydraulique manuelle	Non	Oui	Oui	Oui

.../...

Tableau 8 : suite.

Machine	I	J	K	L	M
Année	2006	2006	1998	2005	2003
Type de traction	Chenilles	Chenilles	Chenilles	Chenilles	Roues
Bus CAN	IQAN	Aucun	Aucun	IQAN	Timbermatic
Type de leviers de commande	Tout électrique	Hydraulique	Électrique et hydraulique	Électrique et hydraulique	Tout électrique
Fonction de sécurité principale	Interrupteur de portière + bouton coupe-pilote	Lever coupe-pilote	Lever coupe-pilote avec valve mécanique	Interrupteurs : de portière + sous l'accoudoir	Interrupteur de portière
Actionnement positif	Non	Non	Ne s'applique pas	Non	Non
Ouverture forcée	Non	?	Ne s'applique pas	?	?
Réarmement	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Procédure complémentaire	Non	Non	Non	Non	Oui
Arrêt d'urgence	Non	Non	Non	Oui	Oui
Coupe-batterie	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Valve hydraulique manuelle	Non	Non	Oui	Oui	Oui

Dans une seconde étape, l'analyse des informations recueillies sur le terrain a permis de structurer les résultats et de les diviser en différentes catégories de dispositifs de sécurité. Une compilation sommaire est présentée au Tableau 9, puis détaillée dans la suite de ce chapitre. Les différents dispositifs étudiés sont :

- La fonction de sécurité principale (section 7.1);
- L'utilisation du réarmement (section 7.2);
- Le démarrage (section 7.3);
- L'arrêt d'urgence (section 7.4);
- Les dispositifs sectionneurs d'énergie (section 7.5);
- Le cadenassage (section 7.6).

Tableau 9 : Résumé du recensement des dispositifs de sécurité

DISPOSITIF	PHOTOS
FONCTION DE SÉCURITÉ PRINCIPALE	
Déclenchée par la position de la porte, la position de l'accoudoir, la position du siège, la position du levier coupe-pilote hydraulique ou la conjonction de deux éléments.	
UTILISATION DU RÉARMEMENT	
Réarmement à l'aide d'un bouton à action momentanée, d'un bouton à deux positions ou de procédures.	
DÉMARRAGE	
Procédure	
ARRÊT D'URGENCE	
Bouton d'arrêt d'urgence	

.../...

Tableau 9 : suite.

DISPOSITIFS « SECTIONNEUR » D'ÉNERGIE		
Robinet à tournant sphérique manuel, sélecteur hydraulique, coupe-batterie, coupe-fuel ou coupe-démarrreur.		   
CADENASSAGE		
Procédure de cadenassage		

7.1 Fonction de sécurité principale

7.1.1 Définition

La fonction de sécurité principale est le dispositif central de l'abatteuse forestière, qui doit neutraliser automatiquement l'abatteuse lorsque l'opérateur sort de sa cabine.

Ce dispositif est actionné soit par un interrupteur, soit par un capteur. Il est localisé au niveau de la porte de l'accoudoir, du siège ou encore associé à un levier, qui doit être déplacé pour sortir de la cabine.

7.1.2 Normes associées à ce dispositif de sécurité

Voici des détails des normes qui concernent la « fonction de sécurité principale » :

- ISO 11850 §4.14 indique que l'abatteuse doit automatiquement être immobilisée lorsque l'opérateur sort de sa cabine. Plus précisément [24]: « *Les machines équipées de systèmes automatiques de façonnage doivent disposer de moyens permettant d'arrêter ou de neutraliser automatiquement la transmission de puissance, à savoir aux flèches, aux équipements de récolte (abattage, ébranchage, tronçonnage) ou aux autres équipements, lorsque l'opérateur quitte son poste. Un dispositif d'alarme sonore ou visuelle doit être prévu pour avertir l'opérateur, avant que celui-ci ne quitte son poste, lorsque les systèmes automatiques de façonnage ne sont pas neutralisés ou lorsque le frein de stationnement n'est pas actionné. Aucune panne d'alimentation électrique ne doit engendrer de risque. Une fois l'alimentation rétablie ou la panne corrigée, le système automatique ne doit pas redémarrer sans réactivation de la commande du système automatique de façonnage.* »
- L'ISO 12100-2 §4.12.3 indique que la redondance est conseillée pour éviter des défaillances de mode commun. Plus précisément [18]: « *Lors de la conception de parties de machine ayant un rapport avec la sécurité, on peut avoir recours à la duplication (ou redondance) de composants de sorte que, si une défaillance affecte un composant, un autre continue d'assurer sa fonction, assurant ainsi la permanence de la fonction de sécurité. [...] La diversité de conception et/ou de technologie peut être utilisée pour éviter les défaillances de cause commune ou de mode commun.* »
- L'ISO 13849-1 §5.2 indique que l'abatteuse neutralisée doit se trouver dans un état dit de sécurité (position sans risque). Plus précisément [26]: « *Une fonction d'arrêt déclenchée par un dispositif de protection doit mettre la machine dans un état de sécurité aussitôt que nécessaire après actionnement du dispositif. Un tel arrêt doit avoir priorité par rapport à l'arrêt en fonctionnement normal.* ».
- L'ISO 14119 §3.2 [28] indique que : « ** Les fonctions dangereuses de la machine « couvertes » par le protecteur ne peuvent pas s'accomplir tant que le protecteur n'est pas fermé; * Si l'on ouvre le protecteur pendant que les fonctions dangereuses de la machine s'accomplissent, un ordre d'arrêt soit donné; * Lorsque le protecteur est fermé, les fonctions dangereuses de la machine « couvertes » par le protecteur puissent s'accomplir, mais la fermeture du protecteur ne provoque pas à elle seule leur mise en marche.* »

- L'ISO 14119 §5.2 recommande que le système soit correctement fixé, ne puisse pas se dérégler, soit accessible pour la maintenance, et possède des positions de fonctionnement stables. Plus précisément : « *Les détecteurs de position doivent être montés de façon à être convenablement protégés contre un changement de position. Pour satisfaire cette exigence : * Les éléments de fixation des détecteurs de position doivent être fiables et leur desserrage nécessiter l'emploi d'un outil; * L'usage de trous oblongs doit être limité au réglage initial; * Des mesures doivent être prises pour maintenir les détecteurs positivement en position après réglage; * On peut aussi retenir que les détecteurs ne doivent pas servir de butées mécaniques.* » Pour les cames, le §5.3 indique qu'elles ne doivent pas endommager le détecteur, ni nuire à sa durabilité.
- L'ISO 14119 §6 impose que l'interrupteur associé à une fonction de sécurité principale fonctionne selon le mode positif et possède des contacts à ouverture forcée (voir vocabulaire au paragraphe 5.3). Plus précisément : « *Dispositif de verrouillage comprenant un seul interrupteur de position à commande mécanique : * L'interrupteur de position doit être actionné suivant le mode positif; * Le contact à ouverture de l'interrupteur de position doit être à ouverture forcée* ».
- L'ISO 14119 §6.3.1 indique que si le système est basé sur un capteur, alors il faudra que les possibilités de contournement soient réduites au minimum et que ce système soit redondant ou auto surveillé.
- La norme CEI 60947-5-1 annexe K5.2.7 indique que le symbole  suffit à justifier si l'interrupteur a des contacts à ouverture forcée. Plus précisément [30] : « *chaque élément de contact à ouverture forcée doit être marqué à l'extérieur de façon indélébile et lisible par le symbole : * »

7.1.3 Dispositifs de sécurité recensés

7.1.3.1 Porte / portière

Cinq abatteuses (A, D, H, I, M) possèdent un interrupteur de position au niveau de la portière pour assurer la fonction de sécurité principale. La Figure 9 illustre trois de ces interrupteurs et le Tableau 10 donne des détails des informations recueillies.



Figure 9 : Interrupteurs électromécaniques de position au niveau des portières

Tableau 10 : Description des portières

<u>Type</u>	Interrupteurs de position électromécaniques. Détection par un plongeur.
<u>Position</u>	Interrupteur placé à l'intérieur du cadre de la portière. Peut se retrouver à n'importe quelle hauteur du cadre de la porte (haut, bas, milieu).
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	Dans tous les cas, la porte appuie sur l'interrupteur lorsqu'elle est fermée et le relâche, lorsqu'elle est ouverte. Ainsi, l'interrupteur est relâché lorsque l'opérateur a accès aux zones dangereuses. L'actionnement positif n'est pas utilisé. En plus, les interrupteurs n'étaient pas à ouverture forcée.
<u>Fixation</u>	Fixation et alignement corrects. Possibilité dans certains cas d'améliorer la solidité du montage pour éviter tout risque de déréglage.
<u>Redondance</u>	Absence de redondance au niveau des interrupteurs. Seul l'interrupteur de position de la portière assure la fonction de sécurité (excepté l'abatteuse L, voir § 7.1.3.5.)
<u>Contournement</u>	Interrupteurs de portière très accessibles, possibilité de contournement. Une simple lanière peut enfoncer le plongeur et faire croire que la porte est fermée (Figure 10)  Figure 10 : Interrupteur de position contourné à l'aide d'une lanière
<u>Cadenassage</u>	NA (non applicable)
<u>Action</u>	* Abatteuses A, H, I et M : l'interrupteur est directement relié à l'ordinateur de bord. Pour ces quatre abatteuses, lors de l'ouverture de la porte, une consigne est envoyée à l'ordinateur de bord, qui coupe ainsi le pilote hydraulique. L'énergie hydraulique sur le porteur et la tête n'est plus disponible. Cette mesure suffit à rendre la tête et le porteur inopérants, mais d'autres mesures en parallèle ont été observées : - Sur les quatre abatteuses, l'ordinateur de bord enclenche le frein de parking pour immobiliser l'engin; - Sur les abatteuses A, H et M, l'ordinateur de bord coupe aussi l'énergie électrique de la tête; - Sur l'abatteuse H, l'ordinateur met le moteur au ralenti; - Sur l'abatteuse M, l'ordinateur empêche l'utilisation de la puissance du moteur diesel pour un déplacement. * Abatteuse D : l'interrupteur de position est directement relié à l'étage de puissance. Lorsque l'on ouvre la porte, on relâche l'interrupteur et on ouvre le circuit électrique associé. Les solénoïdes des valves hydrauliques du frein de parking, du pilote hydraulique principal et de la scie ne sont plus alimentés en énergie électrique. Ainsi, on coupe le pilote hydraulique principal (porteur + tête), l'hydraulique de la scie et on enclenche les freins de parking. Une lumière est aussi active pour indiquer que le pilote hydraulique est OFF. Les autres énergies du porteur restent actives.

Pour récupérer les fonctions hydrauliques du porteur et de la tête, la fermeture de la porte doit être accompagnée sur les cinq abatteuses par une procédure de réarmement.

A noter que les abatteuses D et I possèdent en plus de leur interrupteur de portière un bouton à action momentanée sur le tableau de bord, qui remplit exactement la même fonction (Figure 11).



Figure 11 : Bouton à action momentanée

7.1.3.2 Accoudoir

Deux abatteuses (B, C) possèdent des interrupteurs de position au niveau de l'accoudoir pour assurer la fonction de sécurité principale. La Figure 12 illustre des exemples de ces interrupteurs vus sur le terrain, le Tableau 11 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 12 : Accoudoir levé puis baissé

Tableau 11 : Description des accoudoirs

<u>Type</u>	Interrupteurs de position électromécaniques. Détection par une lame ou par un levier rotatif
<u>Position</u>	Sous l'accoudoir.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	Pour l'abatteuse B, l'accoudoir appuie sur l'interrupteur lorsqu'il est baissé et le relâche lorsqu'il est relevé. Ainsi, l'interrupteur est relâché lorsque l'opérateur a accès aux zones dangereuses. L'actionnement positif n'est pas utilisé, ne profitant pas du fait que l'interrupteur ait des contacts à ouverture forcée. Pour l'abatteuse C, c'est l'inverse. L'accoudoir appuie sur l'interrupteur lorsqu'il est relevé. Il est monté selon le principe de l'actionnement positif. Cependant, l'interrupteur n'est pas à ouverture forcée.
<u>Fixation</u>	Fixation et alignement corrects.
<u>Redondance</u>	Absence de redondance au niveau des interrupteurs.
<u>Contournement</u>	Dispositifs pouvant être contournés facilement sans outils : il y a généralement suffisamment d'espace dans les cabines pour sortir sans relever l'accoudoir
<u>Cadenassage</u>	NA
<u>Action</u>	* Abatteuse B : Ses informations transitent directement à l'ordinateur de bord. Le fait de relever l'accoudoir relâche l'interrupteur, cela interrompt le signal vers l'ordinateur de bord, qui coupe le pilote hydraulique de l'abatteuse. Le porteur et la tête sont neutralisés. Il faut refaire la procédure de réarmement entière pour que l'hydraulique soit disponible. * Abatteuse C : L'information de l'interrupteur va directement à l'étage de puissance. L'interrupteur est relié au solénoïde du pilote hydraulique. Lorsque l'opérateur relève l'accoudoir, l'alimentation en énergie électrique du solénoïde de l'électrovanne est interrompue, ce qui coupe le pilote hydraulique, neutralisant ainsi la tête et le porteur. Il suffit de baisser l'accoudoir pour que l'hydraulique soit de nouveau disponible.

7.1.3.3 Siège

L'abatteuse E possède un capteur au niveau du siège pour assurer la fonction de sécurité principale. Le siège est rotatif et dispose de deux positions stables. La position avant est utilisée pour rentrer dans la cabine et faire avancer l'abatteuse et la position arrière est utilisée pour piloter la tête d'abattage. La Figure 13 illustre le capteur et le Tableau 12 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 13 : Capteur inductif sous le siège

Tableau 12 : Description des sièges

<u>Type</u>	Capteur inductif, détectant la présence de métal à proximité, selon la position du siège : * pas de métal = opérateur en position avant (entrée dans l'abatteuse); * métal = siège en position « abattage ».
<u>Position</u>	Interrupteur placé sous le siège. Difficilement accessible.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	Le principe même de capteur inductif ne se prête ni à l'actionnement positif ni à l'ouverture forcée des contacts; une redondance complète avec auto vérification est habituellement nécessaire pour obtenir un niveau de sécurité satisfaisant.
<u>Fixation</u>	Fixation et alignement corrects. Possibilité dans certains cas d'améliorer la solidité du montage pour éviter tout risque de déréglage.
<u>Redondance</u>	Absence de redondance au niveau des interrupteurs.
<u>Contournement</u>	Dispositif difficilement contournable. Obligation de tourner le siège pour sortir. Possibilité de contournement avec des outils.
<u>Cadenassage</u>	NA
<u>Action</u>	Ce capteur est directement relié à l'ordinateur de bord. Si l'ordinateur de bord a l'information « pas de détection de métal » de la part du capteur alors la tête est déconnectée. C'est-à-dire qu'elle n'a plus d'énergie hydraulique et que son module CANBUS est hors réseau. Au contraire, si l'ordinateur de bord a l'information « détection de métal », alors l'hydraulique et l'électrique du bras et de la tête peuvent être disponibles avec une procédure de réarmement.

7.1.3.4 Levier coupe-pilote hydraulique

Trois abatteuses (F, G, J) possèdent un levier coupe-pilote hydraulique associé à un interrupteur pour assurer la fonction de sécurité principale. La Figure 14 illustre des exemples de ces leviers coupe-pilote hydrauliques vus sur le terrain (hydraulique en fonction, puis hydraulique désactivée), le Tableau 13 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 14 : Levier coupe-pilote

Tableau 13 : Description des leviers coupe-pilote

<u>Type</u>	Levier situé à gauche du siège. En position baissée, il entrave le passage de l'opérateur du siège à la porte de la cabine
<u>Position</u>	Interrupteur généralement placé sous le plancher de la cabine (abatteuses F et G). Peut aussi être placé dans la cabine (abatteuse J)
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	La situation est la même dans les trois cas, le levier appuie sur l'interrupteur lorsqu'il empêche le passage de l'opérateur et le relâche lorsqu'il est relevé pour donner accès à la zone dangereuse (pour laisser sortir l'opérateur). Ainsi, le montage n'est pas à actionnement positif. Si les interrupteurs sont à ouverture forcée, ils n'utiliseront pas cette caractéristique.
<u>Fixation</u>	Interrupteurs inaccessibles. Abatteuse J : levier sans positions stables pour assurer sa fonction correctement (la position « levier relevée » est peu stable et il n'y a pas de cran de retenue).
<u>Redondance</u>	Absence de redondance associée aux leviers coupe-pilote.
<u>Contournement</u>	Dispositifs pouvant être contournés facilement sans outils. Possibilité de sortir de la cabine sans déplacer le levier.
<u>Cadenassage</u>	Ces leviers ne sont pas cadénassables d'origine.
<u>Action</u>	* Abatteuses F et G : les informations transitent directement à l'ordinateur de bord, qui agit sur l'électrovanne du pilote hydraulique et le démarreur. Lorsque le levier permet le passage de l'opérateur, alors il n'y a plus d'énergie hydraulique disponible que ce soit sur le porteur ou sur la tête. A noter que, dans cette position, le démarreur est actif. Pour récupérer l'énergie hydraulique, il faut suivre la procédure de réarmement. * Abatteuse J : les informations de l'interrupteur de position transitent directement vers le solénoïde de l'électrovanne du pilote hydraulique. Le résultat est le même que précédemment. Par contre, lorsque l'opérateur baisse le levier il récupère, sans autre procédure, l'énergie hydraulique.

L'abatteuse K possède un levier coupe-pilote, qui agit mécaniquement et directement sur la valve du pilote hydraulique pour assurer la fonction de sécurité principale. La Figure 15 illustre ce levier coupe-pilote et le Tableau 14 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 15 : Levier coupe-pilote hydraulique à action mécanique

Tableau 14 : Description d'autres leviers coupe-pilote

<u>Type</u>	Levier situé à gauche du siège. En position baissée, il entrave le passage de l'opérateur du siège à la porte de la cabine.
<u>Position</u>	Information non disponible
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	NA
<u>Fixation</u>	Fixation et montage corrects.
<u>Redondance</u>	Absence de redondance associée à ce levier coupe-pilote.
<u>Contournement</u>	Dispositifs pouvant être contournés sans outils ni dépense d'énergie. Possibilité de sortir de la cabine sans déplacer le levier.
<u>Cadenassage</u>	Levier cadenassable.
<u>Action</u>	Lorsque le levier permet le passage de l'opérateur, le pilote-hydraulique est fermé. Il n'y a plus d'énergie hydraulique disponible pour les leviers de commande de la tête et des tractions (les leviers de commande sont hydrauliques). Lorsque le levier est baissé, alors l'hydraulique est disponible. Il existe deux positions basses : • 1^{er} niveau, on active l'hydraulique des leviers de commande qui contrôlent la tête; • 2^e niveau, on active l'hydraulique des leviers de commande pour la traction. Il n'y a pas de procédure de réarmement pour récupérer l'hydraulique, il suffit de descendre le levier.

7.1.3.5 Portière et accoudoir

L'abatteuse L possède deux interrupteurs de position en série, un au niveau de la porte et un au niveau de l'accoudoir pour assurer la fonction de sécurité principale. La Figure 16 illustre ces interrupteurs et le Tableau 15 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 16 : Abatteuse L - interrupteurs électromécaniques de portière et d'accoudoir

Tableau 15 : Description des portières + accoudoirs

<u>Type</u>	Interrupteurs électromécaniques : l'interrupteur de la porte détecte la position grâce à un plongeur. L'interrupteur de l'accoudoir est à lame
<u>Position</u>	L'un est fixé au cadre de la porte (au milieu) et l'autre sous l'accoudoir.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	Ces interrupteurs ne sont pas à actionnement positif. Les interrupteurs sont enfoncés lorsque respectivement la porte est fermée et l'accoudoir est baissé. Ils sont relâchés lorsqu'ils permettent le passage de l'opérateur vers la zone dangereuse.
<u>Fixation</u>	Fixation et montage corrects. Pas de risque de déréglage.
<u>Redondance</u>	Redondance entre les deux interrupteurs (ils sont montés en série).
<u>Contournement</u>	Dispositifs difficilement contournables. Pour le contourner, il faut sortir avec l'accoudoir baissé et maintenir le plongeur de l'interrupteur de portière enfoncé avec un outil
<u>Cadenassage</u>	NA
<u>Action</u>	Leurs informations transitent directement par le circuit de puissance. Ils ferment l'électrovanne du pilote hydraulique en agissant sur son solénoïde et ils coupent les pôles électriques positifs de l'alimentation de la tête. Lors de l'ouverture de la porte ou du soulèvement de l'accoudoir, la tête n'a plus d'énergie hydraulique et électrique. Le porteur, lui, n'a plus d'énergie hydraulique. Pour pouvoir avoir accès aux énergies hydraulique et électrique, il faut que la porte soit fermée et que l'accoudoir soit baissé et que le réarmement soit effectué.

7.2 Utilisation du réarmement

7.2.1 Définition

Le réarmement est une action volontaire de l'opérateur pour éviter les mises en marche intempestives de l'abatteuse. Par exemple : la fermeture d'une porte de cabine munie d'un interrupteur n'est pas suffisante pour remettre le système en marche, l'opérateur devra appuyer volontairement sur un bouton de réarmement pour remettre le système en marche. Cette action ne sera validée que si toutes les commandes sont au neutre.

7.2.2 Normes associées à ce dispositif de sécurité

Voici des détails sur ce que recommandent les normes concernant l'« utilisation du réarmement » :

- ISO 13849-1 §3.8 définit le réarmement manuel [26] : *« fonction interne aux parties du système de commande relatives à la sécurité permettant de rétablir manuellement des fonctions de sécurité données avant le redémarrage de la machine. »*
- ISO 13849-1 §5.4 indique que le réarmement est une action volontaire de l'opérateur pour éviter les mises en marche intempestives. Plus précisément : *« La fonction de réarmement manuel : * Doit être assurée par un dispositif distinct, actionné manuellement et lié aux parties du système de commande relatives à la sécurité; * Ne doit être exécutée que si toutes les fonctions de sécurité et tous les dispositifs de protection sont prêts à fonctionner. Si cela n'est pas le cas, le réarmement ne doit pas être possible; * Ne doit pas déclencher elle-même un mouvement ou une situation dangereuse; * Doit être réalisée par une action délibérée; * Doit préparer le système de commande à accepter un ordre de service à partir de son état de repos; * Ne doit être acceptée que par relâchement de l'organe de service à partir de son état de repos. »*
- ISO 14118 §6.1 indique aussi que le réarmement est une action volontaire de l'opérateur pour éviter les mises en marche intempestives. Plus précisément [27] : *« Mesures dépendant de l'architecture du système de commande, destinées à empêcher que l'ordre accidentel de mise en marche ne provoque une mise en marche intempestive. »*

7.2.3 Dispositifs de réarmement recensés

Huit abatteuses (A, B, D, E, H, I, L, M) sont équipées d'un système de réarmement. Ce réarmement peut être un simple bouton ou une procédure. Il est à utiliser, lorsque l'opérateur a actionné le dispositif de sécurité principal et qu'il l'a refermé (porte fermée, accoudoir baissé, levier abaissé ...)

7.2.3.1 Bouton à action momentanée

Quatre abatteuses (A, D, I, L) possèdent un bouton à action momentanée pour assurer le réarmement. La Figure 17 illustre ces boutons et le Tableau 16 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 17 : Boutons à action momentanée pour le réarmement

Tableau 16 : Description des boutons à action momentanée

<u>Type, protection et position</u>	Abatteuse A : le bouton de réarmement se présente sous la forme d'un interrupteur à action momentanée avec retour en position. Il se situe sur le tableau de bord. Il est situé au milieu des autres boutons sans signe distinctif et n'est pas protégé contre les actionnements accidentels. Abatteuse L : le principe est le même. Cependant, il s'agit du bouton d'activation de la tête et il possède deux positions (ON et OFF) en plus de son action momentanée. Abatteuses D et I : il s'agit d'un bouton à action momentanée, protégé contre les actionnements accidentels par une collerette. Il est également situé sur le tableau de bord. Sur ces quatre abatteuses les boutons sont associés à des voyants pour indiquer l'état de l'hydraulique.
<u>Action</u>	Ces boutons sont à utiliser après tous les démarrages ou les utilisations du dispositif de sécurité principal. Le réarmement donne accès à l'énergie hydraulique en agissant sur le pilote hydraulique principal à condition que les portières soient fermées. Pour l'abatteuse A et I, ce bouton est relié à l'ordinateur de bord qui agit directement sur les commandes hydrauliques. Pour l'abatteuse D, le bouton est relié à l'étage de puissance et agit directement sur le solénoïde du pilote hydraulique principal.

7.2.3.2 Bouton à deux positions

L'abatteuse H possède un bouton à deux positions pour assurer le réarmement. La Figure 18 illustre ce bouton et le Tableau 17 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 18 : Frein de parking jouant le rôle d'un réarmement

Tableau 17 : Description des boutons à deux positions

<u>Type, protection et position</u>	Interrupteur à deux positions qui contrôle le frein de parking. Il est situé à proximité du démarreur à clé. Il n'est pas protégé contre les réarmements intempestifs.
<u>Action</u>	Ce bouton est utilisé après tous les démarrages ou les ouvertures de portière. D'ailleurs le frein de parking s'enclenche automatiquement dès qu'on ouvre la porte. Ce bouton est directement relié à l'ordinateur de bord, et la condition « frein de parking enlevé » en plus de la fermeture de la porte est nécessaire pour que l'ordinateur rende l'hydraulique disponible.

7.2.3.3 Procédure de réarmement

Trois abatteuses (B, E, M) possèdent une procédure pour assurer le réarmement. La Figure 19 illustre les commandes nécessaires à la procédure et le Tableau 18 fournit des détails des informations recueillies.

Sur ces trois abatteuses, le réarmement nécessite une procédure avec plusieurs étapes, notamment en utilisant deux boutons et des validations. Les boutons à deux positions ou à action momentanée reprennent les principes énoncés précédemment. Les énergies sont récupérables uniquement après la dernière étape de la séquence. Ces séquences sont contrôlées et validées par l'ordinateur de bord, qui gère la remise en place des énergies et notamment la disponibilité de l'hydraulique.



Figure 19 : Boutons à impulsion sur les leviers de commande utilisés lors du réarmement

Tableau 18 : Description des procédures de réarmement

<u>Séquence de l'abatteuse B</u>	1. Actionner le bouton à action momentanée dédié au réarmement sur le tableau de bord dédié; 2. Actionner un bouton à impulsion sur le levier de commande gauche.
<u>Séquence de l'abatteuse E</u>	1. Activer le bras et/ou la tête avec des interrupteurs à deux positions. Les deux types d'énergie, hydraulique et électrique, doivent être activées; 2. Attendre une seconde avec les leviers de commande au neutre pour éviter les mouvements intempestifs; 3. Appuyer sur un bouton à impulsion pré-sélectionné sur le levier de commande. A noter que ce bouton peut créer des mouvements dangereux, car il remet la tête en position de repos en refermant les pinces et les rouleaux.
<u>Séquence de l'abatteuse M</u>	1. Réinitialiser le bouton du frein de parking et enlever le frein de parking; 2. Actionner le mât avec le bouton à action momentanée dédié; 3. Faire une validation sur l'écran de l'ordinateur.

7.3 Démarrage

7.3.1 Définition

Les démarrages des abatteuses se font à l'aide d'une clé, d'un bouton ou d'autres dispositifs. Tous ces systèmes doivent respecter les normes et doivent être actionnés selon certaines procédures.

7.3.2 Normes associées au démarrage

- D'après la norme ISO 12100-2 §4.11.2 [18] : « *Le démarrage d'une source d'énergie interne ou le raccordement à une source d'énergie extérieure ne doit pas provoquer la mise en marche d'éléments de travail (ainsi, le démarrage d'un moteur à combustion interne ne doit pas mettre en mouvement une machine mobile, et le raccordement au réseau électrique ne doit pas mettre en marche les éléments de travail d'une machine électrique.* »
- L'ISO 13849-1 §5.5 [26] indique pour la mise en marche et la remise en marche : « *Les prescriptions suivantes doivent s'appliquer : a) Une remise en marche ne doit avoir lieu automatiquement que si une situation de danger ne peut pas exister ; b) Ces prescriptions pour la mise et la remise en marche doivent également s'appliquer aux machines pouvant être commandées à distance.* »
- L'ISO 11850 §4.8 indique que les prescriptions pour faire un démarrage sécuritaire sont :
 - Le démarrage des abatteuses doit nécessiter l'actionnement délibéré d'une commande (souvent un démarreur à clé). Des moyens permettant de neutraliser la commande de démarrage et le relâchement du frein de parking doivent être prévus afin d'empêcher tout déplacement non autorisé de l'abatteuse;
 - Pour éviter tout déplacement intempestif de l'abatteuse pendant le démarrage du moteur, un dispositif de verrouillage doit être prévu pour empêcher le démarrage du moteur, sauf si la commande combinée de direction et de vitesse est en position neutre;
 - Les raccordements du solénoïde et du relais du démarreur doivent être protégés.

7.3.3 Procédures de démarrage répertoriées

Les abatteuses possèdent des procédures pour assurer leur démarrage. Les deux figures (Figure 20 et Figure 21) illustrent les dispositifs et le Tableau 19 fournit des détails des informations recueillies.

Tableau 19 : Description des procédures de démarrage

Étape 1	• Vérifier que le coupe-batterie soit fermé pour permettre le passage du courant dans le démarreur • Vérifier que le dispositif de sécurité principal soit fermé
Étape 2	• Démarrer l'abatteuse avec la clé Sur toutes les abatteuses étudiées, le démarrage se fait à l'aide d'une clé. La serrure de la clé de démarrage des machines compte généralement trois positions. La position « stop » qui correspond à l'arrêt du moteur, la position « mise sous tension » qui permet d'initialiser les circuits électriques, et la position « marche » qui correspond au démarrage du moteur. Après cette étape, le moteur tourne, mais selon la procédure de réarmement, son énergie n'est pas toujours utilisable au niveau de la tête d'abattage. Pour l'abatteuse J, il faut insérer deux clés d'activation avant le démarrage; celle du moteur et celle du pilote hydraulique. Ces clés captives ne peuvent être enlevées qu'en position OFF. Ces deux clés agissent sur les solénoïdes du démarreur et du pilote hydraulique. Lorsque les deux clés sont enlevées, il est possible de cadenasser une plaque pour empêcher un démarrage. Sans ces clés, seules les lumières extérieures sont fonctionnelles.
 Figure 20 : Exemples de démarreur à clé sur les abatteuses	
Étape 3	• Mettre sous tension les ordinateurs de bord de la tête pour pouvoir ensuite utiliser l'énergie hydraulique. Cette étape peut se faire soit : - o Par un bouton à deux positions ON/OFF (Figure 21). Dans le cas de l'abatteuse M, ce bouton est protégé contre les actionnements involontaires. Dans le cas de l'abatteuse K ce bouton est cadenassable; - o Par un interrupteur à clé, dans le cas de l'abatteuse B.



Figure 21 : Boutons d'activation d'ordinateur protégé (gauche) ou cadénassable (droite)

Étape 4	Suivre les procédures de réarmement décrites précédemment. Il est à noter que pour l'abatteuse E, il faut effectuer une procédure initiale avant d'effectuer la procédure de réarmement : 1) Appuyer sur l'interrupteur « Parking » à deux positions, qui enlève le frein de parking et remonte l'échelle; 2) attendre une seconde avec le bouton à trois positions « Avance/Recul/Neutre » au Neutre. Ce n'est qu'à la fin de cette étape que l'ensemble des énergies est utilisable.
---------	--

7.4 Arrêt d'urgence

7.4.1 Définition

L'arrêt d'urgence doit permettre d'éviter des situations dangereuses, qui risquent de se produire de façon imminente. L'arrêt du processus dangereux doit se faire le plus rapidement possible sans créer d'autres dangers et en mettant en place un mouvement de sauvegarde.

Le bouton d'arrêt d'urgence doit rester enclenché, tant que l'opérateur ne le libère pas. Son réarmement ne doit pas provoquer le redémarrage du système.

L'arrêt d'urgence doit être visible et facilement accessible. Des détails supplémentaires sur sa conception sont disponibles dans les normes de la série CEI 60204, où l'on précise notamment sa forme (champignon), sa couleur (rouge), et la couleur du fond (jaune).

7.4.2 Normes associées à l'arrêt d'urgence

- La norme ISO 13850 [38] « Sécurité des machines -Arrêt d'urgence - Principes de conception » spécifie « *des exigences fonctionnelles et des principes de conception pour l'arrêt d'urgence des machines, indépendamment de la nature de l'énergie utilisée pour commander la fonction.* »
- L'ISO 12100-2 §5.5.2 indique que l'arrêt d'urgence doit permettre d'éviter des situations dangereuses, qui risquent de se produire de façon imminente. Plus précisément [18] : « *Si l'appréciation du risque fait apparaître qu'une machine doit être équipée de composants et d'éléments permettant d'assurer une fonction d'arrêt d'urgence pour éviter des situations dangereuses qui risquent de se produire de façon imminente ou qui sont en*

*train de se produire, les exigences suivantes s'appliquent : * les organes de service doivent être clairement identifiables, bien visibles et facilement accessibles; * le processus dangereux doit s'arrêter en un temps aussi réduit que possible sans créer de phénomènes dangereux supplémentaires. Si cela est impossible ou si le risque ne peut pas être réduit, il convient de se demander si l'arrêt d'urgence est ou non une bonne solution; * la commande d'arrêt d'urgence doit déclencher ou permettre de déclencher certains mouvements de sauvegarde lorsque cela est nécessaire. »*

- La norme CEI 60204 §10.7 précise que l'arrêt d'urgence doit être visible et facilement accessible, notamment grâce à la forme en champignon, à la couleur rouge, et au fond jaune. Plus précisément [31] : « ** Les appareils d'arrêt d'urgence doivent être facilement accessibles ; * Les appareils pour arrêt d'urgence sont de type: 1) à interrupteur actionné par bouton-poussoir muni d'une tête du type coup de poing ou champignon; 2) à interrupteur actionné par câble; 3) à interrupteur à commande par pédale, sans garde mécanique. * Les appareils doivent être à manœuvre positive d'ouverture. * Les organes de commande des appareils d'arrêt d'urgence doivent être de couleur ROUGE. S'il existe un fond immédiatement autour de l'organe de commande, alors ce fond doit être de couleur JAUNE. »*

7.4.3 Règlement associé à l'arrêt d'urgence

Le RSST mentionne à l'article 192 que « *toute machine dont le fonctionnement nécessite la présence d'au moins un travailleur doit être pourvue d'un dispositif d'arrêt d'urgence. [...]. »*

7.4.4 Arrêts d'urgence recensés

Six abatteuses (B, C, E, H, L, M) sur les treize possèdent un arrêt d'urgence. La Figure 22 illustre certains d'entre eux et le Tableau 20 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 22 : Échantillon d'arrêts d'urgence recensés sur les abatteuses

Tableau 20 : Description des boutons d'arrêt d'urgence

<u>Type</u>	Dans tous les cas, l'arrêt d'urgence est rouge et en forme de champignon. Seul le fond jaune n'est pas toujours respecté (norme récente).
<u>Position</u>	Pour les six abatteuses, l'arrêt d'urgence est visible et accessible sur le tableau de bord dans la cabine. A noter que l'abatteuse E possède un deuxième arrêt d'urgence accessible du sol d'un côté de la machine.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	Information non disponible
<u>Fixation</u>	Information non disponible
<u>Redondance</u>	NA
<u>Contournement</u>	Information non disponible
<u>Cadenassage</u>	NA
<u>Action</u>	Tous ces arrêts d'urgence respectent la norme CEI 60204-1 [31], en effet ils coupent toute forme d'énergie (en arrêtant le moteur) sur les abatteuses et il faut le libérer en le tournant lorsque les dangers ont disparu. Cette action ne crée pas un redémarrage intempestif, car dans tous les cas, il faut reprendre la procédure de démarrage.

7.5 Dispositifs « sectionneur » d'énergie

7.5.1 Définition

Les dispositifs sectionneurs d'énergie doivent permettre de sectionner une source d'énergie de façon localisée. Nous avons répertorié sur les abatteuses plusieurs organes de service qui ont cette fonction : des robinets à tournant sphérique (ball-valve) sur l'alimentation hydraulique du mât; des coupe-batteries pour isoler la batterie et son énergie électrique du reste de l'abatteuse, ainsi que des coupe-fuel, qui arrêtent le moteur diesel des abatteuses en coupant l'admission de carburant.

7.5.2 Normes associées à ce dispositif de sécurité

- La norme ISO 12100-2 §4.8.7 impose que les dispositifs « sectionneur » d'énergie soient [18] : *«manœuvrables sans risque et sans hésitation; que les dispositions et leurs mouvements soient cohérents avec leur effet; que leur manœuvre ne puisse pas engendrer de risque supplémentaire. »*
- Pour prévenir de tous risques engendrés par des équipements hydrauliques, il convient de se référer à la norme ISO 12100-2 §4.10. Plus précisément : *«* La pression maximale admissible ne doit pas être dépassée dans les circuits; * Aucun phénomène dangereux ne doit résulter d'un à-coup ou d'une augmentation de pression; * Tous les éléments, qui restent sous pression après séparation de la machine de sa source d'énergie, soient munis de dispositifs de mise à la pression atmosphérique clairement identifiés. »*
- Pour prévenir de tous risques électriques, il convient de se référer aux normes CEI et notamment à la norme CEI 60204-1 §5.3. Plus précisément [31] : *«* Un appareil de sectionnement de l'alimentation doit être fourni : pour chaque source d'alimentation d'une(des) machine(s) et ... pour chaque alimentation embarquée. * L'appareil de*

*sectionnement de l'alimentation doit séparer sur demande l'équipement électrique de la machine du réseau d'alimentation (par exemple pour une intervention sur la machine, y compris sur l'équipement électrique). * S'il y a deux ou plusieurs appareils de sectionnement, des verrouillages de protection pour leur fonctionnement correct doivent aussi être fournis afin d'empêcher une situation dangereuse, y compris un dommage à la machine ou aux travaux en cours. »*

7.5.3 Dispositifs de sectionnement de l'énergie recensés

7.5.3.1 Robinet à tournant sphérique manuel

Neuf abatteuses (A, C, D, F, G, H, K, L, M) possèdent un robinet à tournant sphérique qui permet de couper, de façon manuelle, l'alimentation hydraulique à la tête. La Figure 23 illustre ces robinets et le Tableau 21 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 23 : Échantillon de robinets à tournant sphérique pour la tête

Tableau 21 : Description des robinets à tournant sphérique manuels

<u>Type</u>	Ces robinets sont actionnés à l'aide d'une poignée rotative. On appelle ces robinets à tournant sphérique des « ball-valve » ou valve ¼ de tour, car ils sont constitués d'une sphère percée que l'on fait tourner d'un ¼ de tour pour couper le passage de l'huile.
<u>Position</u>	Ces robinets sont situés à la base du mât ou sur le mât. L'accès à ces robinets est compliqué, rendant ainsi leur utilisation difficile. L'organe de commande de sept des neuf robinets est mal protégé et a des risques d'être endommagé par la chute d'un arbre lors de l'abattage.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	NA
<u>Fixation</u>	Fixation généralement solide.
<u>Redondance</u>	Pas de redondance identifiée.
<u>Contournement</u>	Dispositif facilement contournable : il suffit de ne pas l'actionner.
<u>Cadenassage</u>	Tous les robinets montés étaient cadennassables.
<u>Action</u>	Lorsque ces robinets sont actionnés, aucun mouvement de la tête n'est possible, car la tête n'a plus d'énergie hydraulique à sa disposition (le circuit de puissance est coupé). Il est cependant possible de faire avancer ou reculer l'abatteuse en ayant la tête « figée ».

7.5.3.2 Autre robinet à tournant sphérique manuel

Deux abatteuses (D, L) possèdent une variante : un robinet à tournant sphérique qui permet de couper le pilote hydraulique de façon manuelle. La Figure 24 illustre ces robinets et le Tableau 22 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 24 : Autres robinets à tournant sphérique pour le pilote hydraulique

Tableau 22 : Description d'autres robinets à tournant sphérique manuels

<u>Type</u>	Ces robinets sont actionnés à l'aide d'une poignée rotative. On appelle ces robinets des « ball-valve » ou valve ¼ de tour, car ils sont constitués d'une sphère percée que l'on fait tourner d'un ¼ de tour pour couper le passage de l'huile.
<u>Position</u>	Les deux robinets étaient très accessibles. L'un était à l'arrière de l'abatteuse derrière un capot, l'autre se situait dans la cabine.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	NA
<u>Fixation</u>	Fixation généralement solide.
<u>Redondance</u>	Pas de redondance identifiée.
<u>Contournement</u>	Dispositif facilement contournable : il suffit de ne pas l'actionner.
<u>Cadenassage</u>	Les deux robinets étaient cadénassables.
<u>Action</u>	Lorsqu'ils sont actionnés, ces robinets empêchent tout mouvement du porteur et de la tête.

7.5.3.3 Sélectionneur hydraulique

Deux abatteuses (B, E) ont des sélectionneurs pour l'activation ou la désactivation de certaines parties hydrauliques. La Figure 25 illustre ces sélectionneurs (à gauche, pour l'hydraulique de la tourelle, à droite pour l'hydraulique du mât) et le Tableau 23 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 25 : Sélectionneurs identifiés

Tableau 23 : Description des sélectionneurs hydrauliques

<u>Type</u>	Pour les abatteuses B et E, il s'agit d'un bouton à deux positions.
<u>Position</u>	Ces boutons sont très accessibles sur le tableau de bord.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	Information non disponible
<u>Fixation</u>	Standard.
<u>Redondance</u>	Pas de redondance identifiée.
<u>Contournement</u>	Difficile, car ils sont associés à une procédure gérée par l'ordinateur de bord.
<u>Cadenassage</u>	Non
<u>Action</u>	Le bouton sur l'abatteuse E active ou désactive l'hydraulique du mât, et sur l'abatteuse B on agit sur la tourelle. Dans les deux cas, la désactivation se fait de façon électronique, en passant par l'ordinateur de bord qui contrôle une électrovalve. L'utilisation de ces boutons s'inscrit dans une procédure, le seul fait de les activer ne donne pas accès à l'énergie hydraulique visée. Par contre, pour la désactivation de l'énergie hydraulique, une simple action sur le bouton suffit.

7.5.3.4 Coupe-batterie

Douze abatteuses sur treize possèdent un coupe-batterie ou « master disconnect ». Cet organe sert à isoler la batterie et coupe toute forme d'énergie électrique sur l'abatteuse en empêchant la remise en marche du moteur (dans certains cas, si le moteur est en fonction, il peut continuer de fonctionner sans la batterie). La Figure 26 illustre des exemples de ces coupe-batteries vus sur le terrain, le Tableau 24 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 26 : Coupe-batterie fixe, fixe cadenassable et mobile

Tableau 24 : Description des coupe-batteries

<u>Type</u>	Le coupe-batterie se présente toujours sous la forme d'une poignée rotative avec 2 options : soit c'est une « poignée » fixe, soit c'est une poignée que l'on retire lorsque la batterie est déconnectée.
<u>Position</u>	Le coupe-batterie est, dans 90% des cas, situé à l'extérieur de l'abatteuse, derrière un capot ou une protection. Il est dans la majorité des cas très accessible et facilement utilisable par l'opérateur. Cependant, certains montages ne protégeaient pas le coupe-batterie, qui pouvait être endommagé lors de l'abattage.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	NA
<u>Fixation</u>	Fixation généralement solide.
<u>Redondance</u>	Pas de redondance identifiée.
<u>Contournement</u>	Dispositif facilement contournable : il suffit de ne pas l'actionner.
<u>Cadenassage</u>	Seulement deux coupe-batteries, parmi les neuf fixes, étaient cadenassables.
<u>Action</u>	Le coupe-batterie déconnecte la batterie par son pôle positif. L'absence d'énergie électrique entraîne nécessairement l'arrêt de l'ordinateur de bord et, dans certains cas, l'arrêt du moteur et des pompes.

7.5.3.5 Coupe-fuel

L'abatteuse F possède un coupe-fuel pour interrompre l'injection de carburant dans le moteur diesel. La Figure 27 donne un exemple de ce coupe-fuel observé sur le terrain, le Tableau 25 fournit des détails des informations recueillies.



Figure 27 : Coupe-fuel à 2 positions

Tableau 25 : Description des coupe-fuel

<u>Type</u>	Interrupteur, protégé, à deux positions
<u>Position</u>	Situé au même endroit que le coupe-batterie
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	Information non disponible
<u>Fixation</u>	Standard
<u>Redondance</u>	Pas de redondance identifiée
<u>Contournement</u>	Dispositif facilement contournable : il suffit de ne pas l'actionner.
<u>Cadenassage</u>	Non
<u>Action</u>	Cet interrupteur a pour effet de couper l'injection de diesel dans le moteur. Le moteur s'arrête donc au bout de quelques secondes. Il n'y aura plus d'énergie mécanique et hydraulique, mais il restera encore l'énergie électrique à bord du porteur.

7.5.3.6 Coupe-démarrreur

Seule l'abatteuse C possède un coupe-démarrreur. La Figure 28 illustre ce coupe-démarrreur et le Tableau 26 fournit des détails des informations recueillies.

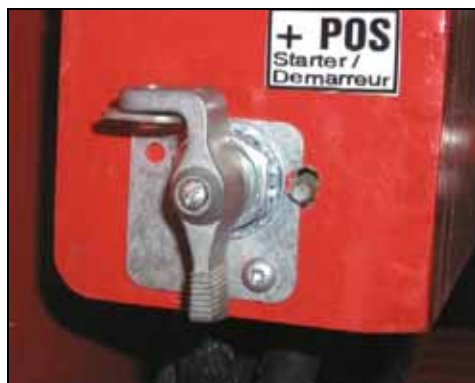


Figure 28 : Coupe-démarrreur

Tableau 26 : Description des coupe-démarrreurs

<u>Type</u>	Il se présente sous la forme d'une poignée rotative.
<u>Position</u>	Le coupe-démarrreur (master) est sous le capot à l'extérieur de l'abatteuse. Ce coupe-démarrreur est accessible par une porte dans le capot.
<u>Actionnement positif / ouverture forcée</u>	Information non disponible
<u>Fixation</u>	Standard
<u>Redondance</u>	Pas de redondance identifiée
<u>Contournement</u>	Dispositif facilement contournable : il suffit de ne pas l'actionner.
<u>Cadenassage</u>	Ce dispositif est cadenassable
<u>Action</u>	Il coupe l'alimentation entre le pôle positif de la batterie et le démarreur (toutes les autres fonctions électriques de la machine sont disponibles). Le courant n'allant plus de la batterie au démarreur, le démarreur ne peut plus être lancé, et le moteur ne peut pas démarrer. Si on ouvre le circuit alors que le moteur tourne, le moteur ne s'arrêtera pas.

7.6 Cadenassage

7.6.1 Définition

Le cadenassage permet de s'assurer que toute source d'énergie d'une machine est coupée et d'éviter que ces énergies ne soient remises en route par un tiers (voir la définition détaillée à la section 5.3 ou la référence [32]). Les articles 185 et 186 du RSST [34] traitent du cadenassage (voir la section 5.4 pour plus de détail). De plus, le cadenassage a été rendu obligatoire sur les abatteuses forestières par la CSST en 2004.

Grâce à cette activité nous avons pu obtenir quelques retours sur ce moyen de protection : le cadenassage n'est pas encore totalement utilisé par tous les opérateurs, car ils jugent que le temps de mise en place est trop long par rapport à la durée des opérations de maintenance. La plupart des distributeurs d'abatteuses sont aussi conscients que le cadenassage est actuellement peu utilisé¹. Le point positif est que le dispositif de cadenassage permet de sensibiliser les opérateurs à leur sécurité et offre aux opérateurs, qui le souhaitent, la possibilité de travailler en sécurité. Cependant, l'objet de cette étude n'était pas de recenser les dispositifs de cadenassage ajoutés aux machines, mais de recenser uniquement les dispositifs montés d'origine par le fabricant sur ces machines et reliés à la sécurité des opérateurs.

7.6.2 Normes associées au cadenassage

D'après l'ISO 12100-2 §5.5.4, le cadenassage, ou consignation, permet de couper et dissiper toute source d'énergie sur une machine. Tous les appareils de séparation sont cadenassés pour éviter que des énergies soient remises par un tiers. Plus précisément [18] : « *Dispositions relatives à la consignation : Principalement en vue de leur maintenance et de leur réparation, les machines doivent être équipées de moyens techniques permettant leur consignation, qui résulte des actions suivantes : * Séparation de la machine de toute source d'énergie; * Condamnation de tous les appareils de séparation en position de séparation; * Dissipation ou, si la dissipation est impossible ou impraticable, rétention de toute énergie accumulée susceptible d'être à l'origine d'un phénomène dangereux; * Vérification, par un mode opératoire sûr, que les mesures prises ci-dessus ont produit l'effet désiré.* »

¹ Les visites sur le terrain ont été réalisées au cours de l'été 2006.

7.7 Synthèse

Le Tableau 27 fait la synthèse des différents dispositifs de sécurité recensés et de leur application.

Tableau 27 : Résumé du recensement des dispositifs de sécurité

DISPOSITIF	PHOTOS	REMARQUES
FONCTION DE SÉCURITÉ PRINCIPALE		
Porte		Fonction d'arrêt, déclenchée par un dispositif de protection, qui met la machine dans un état de sécurité. 100% des abatteuses sont équipées d'un dispositif de sécurité principal. 11 fois sur 13 cette fonction est assurée par un interrupteur de position. Les 2 autres cas sont un capteur inductif et une action mécanique directe.
Accoudoir		Aucune abatteuse (0%) n'utilise un interrupteur à ouverture forcée dans un montage à actionnement positif.
Siège		
Levier coupe-pilote hydraulique		
Porte + accoudoir		
UTILISATION DU RÉARMEMENT		
Bouton à action momentanée		Réarmement manuel, qui permet de remettre la machine en fonction par une action intentionnelle. 5 abatteuses sur les 13 (38%) ne possèdent pas de réarmement ou d'action volontaire suite à l'actionnement du dispositif de sécurité principal. Cette situation peut être dangereuse, car la remise en route devient machinale.

Bouton à deux positions		
Procédure		
DÉMARRAGE		
Procédure		Pour toutes les machines, le démarrage ne crée pas de mouvement intempestif.
ARRÊT D'URGENCE		
Bouton d'arrêt d'urgence		Fonction d'arrêt d'urgence. 6 abatteuses sur 13 (46%) possèdent un bouton d'arrêt d'urgence.
DISPOSITIFS « SECTIONNEUR » D'ÉNERGIE		
Robinet à tournant sphérique manuel		Actionnement des organes de service sans risque et sans équivoque. 9 abatteuses sur 13 (69%) sont équipées d'un robinet manuel pour sectionner le circuit de puissance hydraulique vers la tête.
Coupe-batterie		12 abatteuses sur 13 (92%) sont équipées d'un coupe-batterie pour couper les énergies sur l'abatteuse.
Coupe-fuel		D'autres dispositifs sont aussi utilisés (coupe-fuel, coupe-démarrateur ou sélectionneur hydraulique).

Coupe-démarrreur		
Sélecteur hydraulique		
CADENASSAGE		
Procédure de cadenassage		Le cadenassage a été rendu obligatoire sur les abatteuses par la CSST en 2004 et grâce à cette activité nous avons pu avoir quelques retours sur ce moyen de protection : • Le dispositif de cadenassage est encore très peu utilisé par les opérateurs, qui jugent le temps de mise en place trop long par rapport aux opérations de maintenance qu'ils ont à faire; • La plupart des distributeurs d'abatteuses forestières sont conscients que le cadenassage est très peu utilisé; • Le point positif c'est que le dispositif de cadenassage permet de sensibiliser les opérateurs à leur sécurité et qu'ils ont la possibilité, s'ils le souhaitent, de travailler en sécurité.

8. TRAITEMENT DES INFORMATIONS LIÉES À LA SÉCURITÉ

8.1 Ancienne architecture

Sur les anciennes abatteuses forestières, les informations de sécurité transitaient directement des leviers de commande à l'étage de puissance. Les leviers de commande étaient entièrement hydrauliques, avec des boyaux qui passaient sous les accoudoirs et se dirigeaient vers les valves pour agir sur le pilotage hydraulique. Les boutons et les interrupteurs étaient directement câblés à des solénoïdes ou à la fonction qu'ils contrôlaient sans passer par un ordinateur de bord. Ce type de câblage se remarquait par de grandes tresses de fils.

8.2 Nouvelle architecture

La nouveauté lors de cette activité de recensement en 2006 est que nous nous sommes aperçus que près de 80 % des abatteuses forestières étaient équipées d'un bus de terrain. Ces « bus de terrain » ou bus CAN (Controller Area Network) [39] servent à transporter et à traiter les informations numérisées entre diverses parties de la machine plus simplement et plus rapidement, et permettent aussi de réduire considérablement le câblage électrique de la machine.

Dans le cas des abatteuses forestières, ils permettent de faire communiquer entre eux le système de commande du moteur diesel, le système de commande des pompes, le système de commande des actionneurs hydrauliques (moteurs ou vérins hydrauliques, etc.), l'ordinateur de bord de la tête d'abattage ainsi que les leviers de commandes actionnés par l'opérateur. Le câblage utilisé ressemble à des fils de téléphone et les tresses de fils précédentes ont disparu.

En discutant avec les distributeurs, il paraît clair que la part de l'électronique embarquée ne fera qu'augmenter dans les prochaines années, car elle permet plus de souplesse aux concepteurs tout en réduisant les coûts de câblage et de montage. Par ailleurs, cette technologie, basée sur le bus CAN et les microcontrôleurs, fait l'objet actuellement d'un projet de norme (ISO 11783-1 [25]).

8.3 Bus CAN

Puisqu'une analyse des informations recueillies sur le terrain a permis de remarquer que de plus en plus d'abatteuses forestières sont équipées d'un ordinateur de bord équipé d'un bus de terrain ou plus précisément d'un bus CAN, une description des ordinateurs de bord des abatteuses forestières est présentée ci-dessous, puis les détails du bus CAN sont fournis dans la suite de ce chapitre.

L'ordinateur de bord des abatteuses :

- 10 abatteuses sur 13 (77%) sont équipées d'un bus CAN et d'un ordinateur de bord associé;
- Aucun des bus n'était sécurisé;
- Parmi les abatteuses équipées d'un bus CAN, 60 % l'étaient par le même modèle d'un fournisseur (IQAN de Parker);
- Avec ces systèmes, les leviers de commande sont totalement électriques et les circuits hydrauliques sont localisés à l'extérieur de la cabine.

8.3.1 Définition du bus CAN

Le CAN (Controller Area Network) est un bus de communication série transportant des données ASCII selon un format spécifique. Son objectif est de fournir un bus peu coûteux pour l'électronique embarquée des automobiles, comme alternative aux encombrants et complexes câbles des modèles précédents.

Les contrôleurs CAN sont physiquement petits, peu coûteux et entièrement intégrés. Ils permettent de traiter des débits importants de données en temps réel et dans des environnements difficiles. Enfin, les transmissions ont un haut niveau de fiabilité. C'est pourquoi ils sont utilisés dans les industries telles que l'automobile, l'agriculture, la marine, le matériel médical, les machines textiles, les machines forestières, etc.

Le CAN est aussi devenu un standard international reconnu par la future norme ISO 11783-1 [25]. Cependant, le bus CAN ne traite pas d'informations de sécurité. Par contre, si l'on prend un bus CAN comme base de départ, il est possible d'en faire un bus de sécurité, mais il faut pour cela lui rajouter des couches logicielles et agencer sa partie physique pour la rendre plus fiable. Le référentiel à suivre dans ce cas est la série de normes CEI 61508 [40].

La norme 12100-2 4.11.7 [18] donne de l'information sur les « Fonctions de sécurité assurées par des systèmes de commande électroniques programmables ». Essentiellement, la conception du système de commande électronique doit être pensée dès le départ pour minimiser l'impact des défaillances aléatoires ou systématiques qui peuvent survenir. Le référentiel à suivre est aussi la série de normes CEI 61508.

8.3.2 Future norme ISO 11783-1

La norme relative au bus CAN et aux échanges d'information sur les véhicules agricoles est la norme ISO 11783-1 - *Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network* - qui est en voie d'être approuvée [25]. Cependant, il faut le rappeler, une norme est d'application volontaire et n'est pas réglementaire.

Dans le domaine des équipements agricole et forestier, le marché est totalement ouvert. L'utilisateur revendique le libre choix en matière d'équipement, ce qui signifie que les échanges numériques doivent être possibles, sans qu'il n'ait à se préoccuper de l'origine de ces équipements.

L'organisme international ISO (International Organization for Standardization), s'est donc chargé de régler ces problèmes en créant les normes internationales de transfert de données informatiques pour l'agriculture. Un groupe se consacre essentiellement à tous les problèmes liés à la liaison tracteur-outil. Il est chargé de clarifier les normes d'échanges de données en temps réel entre les différents matériels. Ils ont notamment adopté le bus CAN comme référence.

Cependant, la norme 11783-1 n'offre pour l'instant qu'un paragraphe sur la sécurité liée au bus CAN :

« Controllers, designed according to the requirements of this standard, provide information and control functions in messages sent to a Virtual Terminal, an Auxiliary Controller or a Task Controller as specified in this standard. Manufacturers shall ensure that the control functions requested of a Virtual Terminal, an Auxiliary Controller or a Task Controller are designed and constructed according to applicable safety standards. The functions provided by the controller(s) must be designed such that the desired effect(s) shall occur and not result with a risk of injury. Upon loss of power or communications with the tractor, an implement shall assume a condition of fail safe operation. The interruption, re-establishment after the interruption or fluctuation in whatever manner of the power supply to the implement must not lead to a dangerous situation. A fault in the control logic, or failure or damage to the control circuit, must not lead to a dangerous situation. In particular:

- The implement must not start unexpectedly*
- The implement must not be prevented from stopping if the command has already been given*
- No part of the implement, or piece held by the implement, must fall or be ejected*
- Automatic or manual stopping of the moving parts, whatever they may be, must be unimpeded*
- The protection devices must remain fully effective*
- Remote-controlled implements must be designed and constructed to stop automatically if the driver loses control*
- The operator shall have the ability to override implement controlled systems. »*

Il existe aussi un paragraphe sur l'obligation d'effectuer une initialisation, c'est-à-dire un contrôle de tous les adressages à chaque démarrage.

8.3.3 Sécuriser le bus CAN

Dans les abatteuses forestières, ou dans d'autres machines mobiles, les bus CAN transportent des informations relatives à la sécurité de l'opérateur et il est important que ces informations soient traitées correctement. Or, il est communément admis qu'un automate programmable standard ne peut pas éliminer le risque qu'un défaut de la logique de commande, qu'une défaillance ou qu'une détérioration du circuit de commande ne créera pas de situation dangereuse [19]. D'après des experts du CiA (CAN in Automation) [41], pour sécuriser un réseau CAN, il faut ajouter des protocoles au système de base, selon les principes suivants :

- Le système possède un état sûr et il se met dans cet état lors de l'actionnement de commandes de sécurité;
- Un contrôle régulier doit être réalisé sur l'état des transmissions de données entre les commandes de sécurité et les actionneurs, qui mettent le système dans un état sûr;
- Le but n'est pas d'empêcher que des erreurs se produisent, mais de détecter toutes les erreurs et de réagir en conséquence;
- Les communications dédiées à la sécurisation du système ne doivent pas affecter le fonctionnement classique du bus CAN.

La méthode proposée par les experts est le « CANopen safety protocol » associé à une architecture spécifique (qui améliore la fiabilité du bus CAN) ainsi qu'à une amélioration matérielle du bus CAN (par l'utilisation d'une puce électronique spécifique).

9. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude exploratoire a permis d'étudier 13 abatteuses forestières récentes (1998 à 2006) de dix marques différentes, permettant de couvrir la majorité des types d'abatteuses présentes au Québec et, ainsi, de former un échantillon représentatif de la réalité.

Pour cela, nous avons rencontré sur le terrain, un peu partout au Québec, les principaux acteurs de l'industrie de l'abattage mécanisé, que ce soit au niveau des distributeurs, des centres de formation professionnelle ou encore d'une foire d'exposition. Toutes les informations recueillies ont été analysées selon les principes de sécurité des machines mis en place à l'IRSST, principes basés sur des normes internationales en sécurité des machines (ISO et CEI).

Cette étude exploratoire nous a donc permis d'établir une liste quasi exhaustive de ce qui se fait actuellement en matière de sécurité par les constructeurs sur les abatteuses forestières au Québec. L'utilisation et les types de dispositifs de sécurité disponibles d'origine sont très variables selon les abatteuses forestières étudiées (interrupteurs de position installés sur la porte, sous le siège, procédure de réarmement et de démarrage, arrêt d'urgence, sectionneur d'énergie, ...). Un point important à noter est le possible contournement de ces dispositifs s'ils interfèrent avec le travail de l'opérateur. Des recommandations sont donc formulées au Tableau 28 afin de faire évoluer ces machines forestières vers un meilleur niveau de sécurité. Nous espérons que les différents acteurs du monde forestier utiliseront ces résultats de recherche [42] soit pour informer les utilisateurs des failles de certains de ces dispositifs de sécurité ainsi que de la nécessité de ne pas les contourner, soit pour demander aux constructeurs de les faire évoluer compte tenu des recommandations.

Cette étude nous a aussi permis de mettre à jour l'utilisation grandissante de l'électronique programmable à bord de ces machines forestières. Les abatteuses utilisent de plus en plus des « bus de terrain » ou bus CAN (Controller Area Network), qui permettent de transporter et de traiter les informations numérisées entre diverses parties de la machine (système de commande du moteur diesel, des pompes, des actionneurs hydrauliques (moteurs et vérins hydrauliques, etc.), ordinateur de bord de la tête d'abattage, commandes actionnées par l'opérateur) plus simplement et plus rapidement, et permettent aussi de réduire considérablement le câblage électrique de la machine. Cette technologie, basée sur le bus CAN et les microcontrôleurs, fait aussi l'objet actuellement d'un projet de norme (ISO 11783-1). Par contre, ce ne sont actuellement pas des réseaux conçus pour traiter des informations relatives à la sécurité des personnes. Des recommandations sont donc aussi formulées au Tableau 28 concernant les bus CAN, afin de faire évoluer ces machines forestières vers un meilleur niveau de sécurité. Enfin, il reste aussi à quantifier la performance et la fiabilité de ces dispositifs de sécurité.

Tableau 28 : Recommandations

Problème	Recommandation
Dans 85 % des cas, le dispositif de sécurité principal est déclenché par un interrupteur de position. Cependant, aucune de ces abatteuses ne dispose d'un interrupteur avec l' ouverture forcée des contacts associé à un montage à actionnement positif .	Utilisation systématique d'un interrupteur avec l'ouverture forcée des contacts associé à un montage à actionnement positif pour assurer la fonction de sécurité de l'abatteuse.
Le dispositif de sécurité principal associé à l'ouverture de la porte peut interférer avec des besoins de communication entre l'opérateur en cabine et une personne à l'extérieur.	Adapter la cabine ainsi que le dispositif de sécurité principal aux spécificités de l'abattage mécanisé. Par exemple, création d'une fenêtre pour parler avec une personne à l'extérieur ou utilisation d'un moyen de télécommunication (talkie-walkie), création d'un mode de fonctionnement « maintenance », qui permet de neutraliser le dispositif principal de sécurité dans des conditions de fonctionnement bien définies, etc.
Le réarmement n'est pas généralisé (62% des abatteuses) et se fait selon différentes procédures, boutons ou combinaison de boutons...	Utilisation systématique du réarmement après l'actionnement de la fonction de sécurité. De plus, ajouter à l'extérieur de l'abatteuse un indicateur d'état de la machine (machine neutralisée ou machine fonctionnelle).
Moins de 50 % des abatteuses possèdent un arrêt d'urgence dans la cabine.	Équiper toutes les abatteuses d'un arrêt d'urgence en cabine.
La redondance des interrupteurs qui assurent le déclenchement de la fonction principale de sécurité, n'est que très peu utilisée (un seul cas d'utilisation sur les treize abatteuses forestières étudiées).	Utilisation systématique de la redondance pour les interrupteurs qui assurent le déclenchement de la fonction de sécurité principale. Pour cela, utiliser par exemple des interrupteurs de technologies différentes, montées en série ou avec un contrôleur de discordance, ainsi que les principes de réduction de la probabilité de défaillance des fonctions de sécurité décrits dans la norme ISO 12100-2:2003 §4.12 [18].
Le bus CAN est devenu un élément incontournable pour les abatteuses mécanisées, qui assure aussi le transport d'informations liées à la sécurité de l'opérateur.	Utilisation systématique d'un bus de terrain sécurisé, si les informations de sécurité doivent transiter par ce bus de terrain. Sinon, séparation des fonctions entre le bus de terrain et la fonction principale de sécurité : faire transiter les informations de sécurité par un câblage distinct du bus de terrain.
La mise en sécurité de l'abatteuse se fait majoritairement en commandant la coupure du circuit de pilotage hydraulique via une électrovanne.	Améliorer la fiabilité de l'électrovanne de coupure du circuit de pilotage hydraulique, afin d'être certain que le signal envoyé est bien suivi de la bonne action (plus de pression dans le circuit de pilotage hydraulique). Une seule abatteuse a un retour en cabine de l'état (ON / OFF) du pilote hydraulique. Pour cela, il pourrait être utile de s'inspirer des valves de sécurité montées sur le système de freinage des presses à métal ou sur le circuit hydraulique des presses à injecter le plastique [43].

10. RÉFÉRENCES

1. Site web de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé et Sécurité du Travail. Disponible sur : <http://www.irsst.qc.ca/fr/accueil.html> (consulté le 02.2006)
2. Giraud, L.; Massé, S.; Vigneault, S., *L'entretien des têtes d'abattage : identification des risques et exploration des possibilités d'amélioration*, R-408 ed. Montréal, IRSST, 2005, 45 p.
3. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception," ISO, ISO 13849-1:2006, Suisse, 2006.
4. Poulin, H.; Masse, S.; Audet, D., *Enquête sur la main-d'oeuvre forestière au Québec en 1994 : rapport synthèse*. Québec, Gouvernement du Québec - MRNF, 1998, 51 p.
5. Bernier, J., *Comité de travail interministériel sur les rapports collectifs du travail en milieu forestier : rapport*. Québec, Gouvernement du Québec, 1999, 157 p.
6. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, *Procédés de récolte des bois utilisés dans les forêts du domaine de l'État - Rapport annuel 2000-2001*. Québec, Gouvernement du Québec - MRNF, 2001, 46 p.
7. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, *Procédés de récolte des bois utilisés dans les forêts du domaine de l'État - Rapport annuel 2002-2003*. Québec, Gouvernement du Québec - MRNF, 2004, 51 p.
8. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, *Procédés de récolte des bois utilisés dans les forêts du domaine de l'État - Rapport annuel 2003-2004*. Québec, Gouvernement du Québec - MRNF, 2005, 38 p.
9. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, *Procédés de récolte des bois utilisés dans les forêts du domaine de l'État - Rapport annuel 2004-2005*. Québec, Gouvernement du Québec - MRNF, 2006, 48 p.
10. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, *Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu à l'opérateur d'une abatteuse, le 26 février 2007, sur un chemin forestier situé à St-Marcel-de-l'Islet*. Québec, CSST, 2007
11. Hébert, F.; Cloutier, E.; Massicotte, P.; Levy, M., *Les accidents de travail survenus en 1994 dans l'industrie forestière - Analyse de scénarios d'accidents à partir des dossiers d'accidents (ADR) de la CSST*, Rapport R-148 ed. Montréal, IRSST, 1997, 112 p.
12. Cloutier, E.; Laflamme, L., *Organisation du travail et sécurité des opérations forestières*, Rapport R-005 ed. Montréal, IRSST, 1985, 490 p.
13. Cloutier, E.; Pelletier, C., *La sécurité en forêt - Machinerie et conditions de travail*, Rapport R-040 ed. Montréal, IRSST, 1993, 144 p.

14. Massé, S.; Cesta, V.; Bélanger, R., *La sécurité en forêt - Amélioration technique des machines de récolte forestière*, Rapport R-051 ed. Montréal, IRSST, 1993, 204 p.
15. Paques, J.-J.; Bourbonnière, R.; Daigle, R.; Duchesne, D.; Trudel, C.; Villeneuve, J.; Hunynh, T. T.; Eliskof, S.; Schreiber, L., *Sécurité des machines : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages*, Montréal, CSST, 2004, 15 p.
16. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines, Principes pour l'appréciation du risque," ISO, ISO 14121:1999, Suisse, 1999.
17. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1: Terminologie de base, méthodologie," ISO, ISO 12100-1, Suisse, 2003.
18. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines -- Notions fondamentales, principes généraux de conception -- Partie 2 : Principes techniques," ISO, ISO 12100-2:2003, Suisse, 2003.
19. Lupin, H.; Marsot, J., *Sécurité des machines et des équipements de travail. Moyens de protection contre les risques mécaniques*, ED 807 ed. France, INRS, 2006, 104 p.
20. Bourbonnière, R.; Paques, J.-J., *Amélioration de la sécurité des machines par l'utilisation des dispositifs de protection*, Montréal, IRSST, CSST, 2001, 4 p.
21. Giraud, L., *Sécurité des machines – Prévention des phénomènes dangereux d'origine mécanique – Protecteurs fixes et distances de sécurité*, Montréal, IRSST, CSST, RG-552, 2008, 72 p.
22. Bourbonnière, R., Paques, J.-J., Monette, C. et Daigle, R., *Guide de conception des circuits de sécurité – Introduction aux catégories de la norme ISO 13849-1 :1999 (version corrigée)*, IRSST, R-405, 2005, 74 p.
23. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines -- Lignes directrices pour la compréhension et l'utilisation des normes sur la sécurité des machines," ISO, ISO 18569, Suisse, 2004.
24. Organisation internationale de normalisation, "Matériel forestier- Machines automotrices- Sécurité," ISO, ISO 11850, Suisse, 2003.
25. Organisation internationale de normalisation, "Tracteurs et matériels agricoles et forestiers -- Réseaux de commande et de communication de données en série -- Partie 1: Système normalisé général pour les communications de données avec les équipements mobiles," ISO, ISO 11783-1 (Projet de norme), Suisse, 2007.
26. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception," ISO, ISO 13849-1:1996, Suisse, 1996.

27. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines -- Prévention de la mise en marche intempestive," ISO, ISO 14118, Suisse, 2000.
28. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines - Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs, Principes de conception et de choix," ISO, ISO 14119, Suisse, 1998.
29. Organisation internationale de normalisation, "Tracteurs et matériels agricoles et forestiers -- Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité -- Partie 1: Principes généraux pour la conception et le développement" ISO, ISO/DIS 25119-1, Suisse, 2008
30. Commission électrotechnique internationale, "Appareillage à basse tension - Partie 5-1: Appareils et éléments de commutation pour circuits de commande - Appareils électromécaniques pour circuits de commande," CEI, CEI 60947-5-1, Suisse, 2003.
31. Commission électrotechnique internationale, "Sécurité des machines - Equipement électrique des machines - Partie 1: Règles générales," CEI, CEI 60204-1, Suisse, 2005.
32. Association Canadienne de Normalisation (CSA), « Maîtrise des énergies dangereuses : Cadenassage et autres méthodes », CSA, Z460-05, Canada, 2005.
33. Lüken, K.; Paridon, H. et Windemuth, D., *Neutralisation des dispositifs de protection sur les machines: un problème multidimensionnel*, INRS, Cahiers de notes documentaires, ND 2261 – 205 – 06, 2006, pp. 55-58.
34. Gouvernement du Québec . Règlement sur la santé et la sécurité du travail - Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1, a. 223, 1^{er} al., par. 1°, 3°, 4°, 7° à 16°, 18° à 21.1°, 41° et 42°, 2^e al. et 3^e al.). 885-2001, p5021-5133. 2001. Éditeur officiel du Québec.
35. Gouvernement du Québec . Règlement sur les travaux forestiers - Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1). 7. 1981. Éditeur officiel du Québec.
36. Gauthier, F.; Giraud, L.; Bourbonnière, R.; Bournival, S.; Richard, J. G.; Daigle, R.; Massé, S., *Développement d'un outil d'évaluation des mesures de retenue des camions aux quais de transbordement (version corrigée)*, R-381 ed. Montréal, IRSST, 2006, 60 p.
37. Godin, A. E., "Base de données sur l'équipement forestier : mise à jour 2001". *Rapport Avantage - FERIC*, vol. 2, no 59, 2001, p. 2.
38. Organisation internationale de normalisation, "Sécurité des machines : arrêt d'urgence : principes de conception," ISO, ISO 13850, Suisse, 1996.
39. Le site web de CAN in AUTOMATION, site spécialisé sur le produit CANopen. Disponible sur : <http://www.can-cia.org/> (consulté le 05.2006)
40. Commission électrotechnique internationale, "Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/ électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 1: Prescriptions générales," CEI, CEI 61508-1, Suisse, 1998.

41. CAN in AUTOMATION, "CANopen framework for safety-relevant communication," CiA, CiA Draft Standard 304, Allemagne, 2005.
42. Giraud, L., Chinniah, Y et Burlet-Vienney, D., *Safety of single-grip harvesters – From theory to the field*, 5th International Conference Safety of Industrial Automated Systems - SIAS, Tokyo, Japan, November 12-13, 2007, pp. 22-27.
43. Chinniah, Y., Champoux, M., *La sécurité des machines - Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique*, IRSST, R-557, 2008, 93 p.