

2011

La sécurité des têtes d'abattage multifonctionnelles

Laurent Giraud

IRSST, laurent.giraud@irsst.qc.ca

Nicolas Gagné

Université du Québec à Montréal, Groupe 3D

Daoud Ait-Kadi

Université Laval

Priscille Hastey

Université du Québec à Montréal, Groupe 3D

Marina Koutchouk

IRSST

See next page for additional authors

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

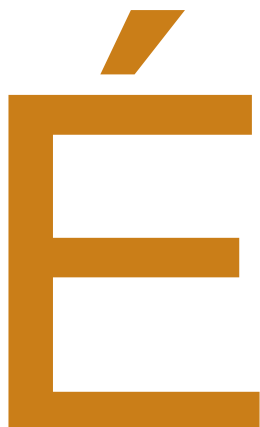
Citation recommandée

Giraud, L., Gagné, N., Ait-Kadi, D., Hastey, P., Koutchouk, M., Tanchoux, S. et Vezeau, S. (2011). *La sécurité des têtes d'abattage multifonctionnelles* (Rapport n° R-698). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

Auteurs

Laurent Giraud, Nicolas Gagné, Daoud Ait-Kadi, Priscille Haste, Marina Koutchouk, Sébastien Tanchoux, and Steve Vezeau



Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

RAPPORT R-698



La sécurité des têtes d'abattage multifonctionnelles

Laurent Giraud
Nicolas Gagné
Daoud Ait-Kadi
Priscille Hastey
Marina Koutchouk
Sébastien Tanchoux
Steve Vezeau



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

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

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

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

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

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

Pour en savoir plus

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

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

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2011
ISBN : 978-2-89631-558-1 (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,
août 2011



Sécurité de outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

 RAPPORT R-698

La sécurité des têtes d'abattage multifonctionnelles

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 Giraud¹, Nicolas Gagné^{2,3}, Daoud Ait-Kadi⁴,
Priscille Hastey^{2,3}, Marina Koutchouk⁵,
Sébastien Tanchoux⁵, Steve Vezeau⁶*

¹Service de la recherche, IRSST

²École de design, UQAM

³Groupe 3D

⁴Département de génie mécanique, Université Laval

⁵IRSST

⁶Université du Québec à Montréal

*Illustrations: Sergio Ivan Mora Alba,
Sima Design*

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'IRSST

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 véhicules tout-terrains conçus pour travailler en forêt, qui servent de véhicule moteur pour déplacer une tête d'abattage groupeuse ou une tête d'abattage multifonctionnelle. L'utilisation d'abatteuses avec une tête d'abattage multifonctionnelle s'est largement répandue au Québec ces dernières années, pour de nombreuses raisons dont :

- La réduction de la superficie des sentiers de débardage;
- L'élimination des aires d'ébranchage en bordure de route;
- La réduction de la diversité des machines, car une seule machine tronçonne et façonne les arbres en billots, là où il en fallait plusieurs avec les anciennes méthodes;
- La réduction de la dégradation des sols, car le façonnage des arbres se fait sur place et il est possible, au besoin, de créer un tapis végétal.

L'IRSST a amorcé une série d'études sur l'abattage mécanisé en même temps que la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) exigeait, en avril 2004, le cadenassage des abatteuses lors des interventions de maintenance. Une première étude¹ a démontré, par exemple, que les accidents en abattage mécanisé sont plus graves que la moyenne. Une seconde étude² a permis de recenser sur des machines récentes les dispositifs de sécurité servant à assurer la sécurité des personnes aux alentours de l'abatteuse.

Cette troisième étude, de plus longue haleine, avait deux buts principaux : 1) documenter l'activité des opérateurs pour mieux comprendre les phénomènes dangereux et les situations dangereuses pouvant mener à des accidents lors des interventions sur la tête d'abattage et 2) réaliser une analyse de risque pour les opérations de réglage des pressions et proposer des moyens de réduction du risque.

De nombreuses observations sur le terrain, conjuguées à une analyse théorique, ont permis à l'équipe de recherche de réaliser son mandat. La variété et la fréquence des interventions sur la tête ont été mesurées. L'impact, sur la sécurité des travailleurs, de la séquence d'opérations nécessaires lors d'une intervention sur la tête d'abattage, a été quantifié. Les opérations générant des situations dangereuses pour les opérateurs, lors d'une sortie de la cabine, ont été identifiées. Des solutions, tant de suppression du risque à la source que d'utilisation de dispositifs de protection ou de procédures sécuritaires, ont été mises de l'avant. Pour l'opération de réglage des pressions, l'analyse du risque a permis d'identifier six causes responsables de l'apparition des événements dangereux possibles. Des pistes de solutions, tant matérielles qu'organisationnelles, ont été proposées. L'impact sur la sécurité des travailleurs et la complexité de la mise en œuvre a été quantifié pour chacune d'elles.

Cette étude a permis de dresser le portrait le plus fidèle possible des différentes interventions sur une tête d'abattage et ainsi, de comprendre les causes de ces interventions. L'équipe de recherche espère que cette recherche permettra d'améliorer la sécurité des travailleurs forestiers qui utilisent une abatteuse munie d'une tête multifonctionnelle.

¹ [1] Giraud et al., L'entretien des têtes d'abattage - Identification des risques et exploration des possibilités d'amélioration (IRSST, rapport R-408, 2005).

² [2] Giraud et al., Abatteuses forestières - Dispositif et circuits de commande relatifs à la sécurité (IRSST, rapport R-593, 2008).

REMERCIEMENTS

L'équipe de recherche tient à remercier toutes les entreprises du Québec, de l'Abitibi à la Gaspésie, qui ont participé à cette étude, dont le Centre de formation professionnelle en foresterie de l'Est-du-Québec à Causapscal, le Centre de formation Harricana à Amos, la Coopérative forestière Ferland-Boilleau et le Groupement forestier du Pontiac inc., en ouvrant leurs portes et en permettant d'accéder aux parterres de coupe pour observer le travail effectué sur le terrain et discuter avec les opérateurs d'abatteuse et les autres travailleurs présents.

L'équipe de recherche tient aussi à remercier tous les travailleurs qui ont été rencontrés et observés, brièvement ou durant tout un quart de travail, afin de permettre à l'équipe de recherche de comprendre leur travail. Enfin, l'équipe de recherche tient aussi à remercier toutes les personnes, étudiants, stagiaires, membre du comité de suivi qui ont aidé la réalisation de cette étude terrain.

Les auteurs remercient aussi à l'IRSST pour son soutien financier à cette recherche.

TABLE DES MATIÈRES

1.	Introduction	1
2.	Méthodologie	3
3.	Les données d'accidents	5
4.	Les interventions humaines sur la tête d'abattage et à proximité.....	9
4.1	La tête d'abattage, une machine dangereuse.....	9
4.2	Les types d'interventions manuelles.....	11
4.3	Sortie de l'opérateur sur le parterre de coupe	13
4.3.1	Le diagnostic	13
4.3.2	Habillement.....	13
4.3.3	Mise en sécurité de l'abatteuse multifonctionnelle	14
4.3.4	Recherche d'outils et de pièces de rechange dans le coffre à outils	14
4.3.5	Descente de la machine	15
4.3.6	Déplacement vers la tête d'abattage	16
4.3.7	Intervention sur la tête d'abattage	16
4.4	La proximité des autres travailleurs autour de l'abatteuse.....	19
4.4.1	Interventions de courte durée.....	19
4.4.2	Changements de quart	20
4.4.3	La maintenance périodique	21
4.4.4	Le calibrage des pressions.....	21
5.	Les déterminants de l'activité et les risques d'accidents	23
5.1	Environnement de travail parfois hostile	23
5.1.1	Déplacements dangereux	23
5.1.2	Climats extrêmes et arrêt du moteur	24
5.1.3	Les animaux sauvages	26
5.1.4	Perte de clé.....	26
5.2	Les erreurs de commande et la proximité d'autrui	26
6.	Amélioration de la sécurité à proximité de la tête d'abattage	31
6.1	Démarche générale de réduction du risque.....	31
6.1.1	Réduire les risques à la source.....	32
6.1.2	Utilisation de protecteurs	32
6.1.3	Autres moyens de protection	33
6.2	Amélioration de la sécurité lors d'une intervention autour de la tête d'abattage	33
6.3	Amélioration de la sécurité lors du réglage des pressions	35
6.3.1	Analyse de risque lors du réglage des pressions.....	35
6.3.2	Pistes de solution et analyse	43
7.	Conclusion.....	47

8.	Références	49
9.	Annexes.....	51
9.1	Annexe I – Séquences d’abattage filmées	51
9.2	Annexe II - Arbre de défaillance de la procédure de réglage des pressions	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Détails des observations réalisées	4
Tableau 2: Résultats de deux extractions de la base de données de la CSST et calcul des résultats par accident retenu.....	5
Tableau 3 : Résultats par accident retenus de deux extractions de la base de données de la CSST et comparaison avec la moyenne des accidents.....	6
Tableau 4 : Statistiques d'accidents (source CSST)	6
Tableau 5 : Les événements « passé proche » dans une entreprise en 1999-2000.....	7
Tableau 6 : Fréquence et nature des interventions sur une tête d'abattage multifonctionnelle	11
Tableau 7 : Éléments techniques des observations réalisées	12
Tableau 8 : Catégories d'interventions manuelles de l'opérateur sur la tête d'abattage.....	12
Tableau 9 : Position du dispositif de cadenassage et ses effets positifs ou négatifs	25
Tableau 10 : Possibilités de réduction du risque	32
Tableau 11 : Moyens de réduction du risque	34
Tableau 12 : Limites de l'étude	36
Tableau 13 : Phénomènes dangereux repérés sur l'abatteuse et la tête.....	37
Tableau 14 : Analyse du risque lié aux mouvements mécaniques	38
Tableau 15 : Analyse du risque lié à la gravité terrestre.....	40
Tableau 16 : Analyse du risque lié aux formes des pièces.....	40
Tableau 17 : Analyse du risque lié au fluide sous pression.....	41
Tableau 18 : Analyse du risque lié aux phénomènes thermiques.....	41
Tableau 19 : Analyse du risque lié aux facteurs humains.....	42
Tableau 20 : Détails des différentes causes d'apparition des événements dangereux.....	42
Tableau 21: Pistes de solution matérielles - réglage des pressions	43
Tableau 22 : Pistes de solution organisationnelles - réglage des pressions	43
Tableau 23: Impact des solutions organisationnelles sur les causes d'événement	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Conditions d'un « passé proche »	8
Figure 2: Tête d'abattage multifonctionnelle en position verticale et ouverte	9
Figure 3 : (a) Abatteuse sans échelle - cabine légèrement pivotée; (b) Abatteuse sans échelle. .	15
Figure 4 : Tête déposée au sol, pinces vers le sol	17
Figure 5 : Tête déposée au sol en sens inverse de la Figure 4.	17
Figure 6 : Opérateur debout travaillant sur la tête suspendue à environ 1 mètre du sol, avec les pinces vers le bas (gauche) ou la tête posée au sol (droite).....	18
Figure 7 : Tête suspendue devant l'abatteuse	19
Figure 8 : Le second opérateur s'approche du véhicule alors que le premier est en cabine.....	20
Figure 9 : Calibrage des pressions des actionneurs hydrauliques	21
Figure 10 : Sectionneur hydraulique principal sous l'avant de la cabine	23
Figure 11 : Sectionneur situé immédiatement sous le devant de la porte, à l'extérieur	24
Figure 12 : Sectionneur situé à l'extérieur de la cabine, sans accès prévu	24
Figure 13 : (a) Commande la plus largement répandue; (b) <i>Joystick</i> d'un véhicule neuf.....	27
Figure 14 : (a) <i>Joystick</i> ancien mais très efficace, selon les opérateurs; (b) Autre ancien <i>joystick</i>	27
Figure 15 : Démarche de réduction du risque	31

1. INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, l'abattage des arbres au Québec implique de plus en plus de véhicules mécanisés comme les abatteuses forestières [3, 4]. Ces véhicules tout-terrains de la taille d'une grosse pelleteuse sont puissants et solides, car ils doivent évoluer en forêt et transporter une tête d'abattage. L'utilisation de plus en plus fréquente d'abatteuses forestières à tête multifonctionnelle a l'avantage de réaliser plusieurs fonctions par une même machine (abattage, ébranchage et tronçonnage) en limitant les déplacements sur le terrain grâce au mât déployable de l'abatteuse. Par contre, l'entretien de cette machinerie de plus en plus complexe pose de sérieux problèmes au niveau de la sécurité des travailleurs [5, 6, 7, 8].

Par exemple, au Québec, 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 [9]; quelques jours après, un autre travailleur a subi de nombreuses blessures aux membres supérieurs et au visage lorsqu'il a été entraîné puis éjecté par les rouleaux d'alimentation (ou d'entraînement) d'une tête d'abattage. En France³, la base de données EPICEA de l'INRS, qui n'est pas exhaustive, indique que lors d'une réparation sur les pinces de la tête d'abattage élagueuse, un travailleur a perdu la vie après avoir actionné, par accident, le détecteur de présence des troncs, ce qui a eut pour effet de refermer les pinces. En 2004, au Québec, un opérateur a subi des blessures graves lorsqu'il s'est fait coincer par les pinces de la tête d'abattage lors d'une opération de maintenance. En 2006, toujours au Québec, un opérateur d'abatteuse s'est fait écraser la jambe par les pinces de la tête d'abattage multifonctionnelle lors d'une intervention sur le guide-chaîne de la scie à chaîne. Finalement, en 2007, un opérateur est décédé lors d'une intervention de maintenance sur la roue de mesurage [10].

L'accident survenu en 2000 a été le déclencheur d'un projet de recherche visant à identifier les risques et à explorer des possibilités d'amélioration de la sécurité des abatteuses. Ce projet de recherche a été financé par l'Institut Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) et a été suivi par le Comité paritaire de prévention du secteur forestier.

Le volet ergonomie du projet visait à documenter l'activité des opérateurs pour mieux comprendre les situations et phénomènes dangereux pouvant être à l'origine d'événements dangereux et possiblement de dommages aux travailleurs. Toutefois, cette première étape permet de bien comprendre la nature et la fréquence des interventions de maintenance effectuées sur les têtes d'abattage multifonctionnelles uniquement. Le second volet du projet consistait à réaliser une analyse de risque pour la procédure de réglage des pressions (réglage des actionneurs hydrauliques de la tête). Le réglage des pressions avait été choisi lors de la mise en place de ce projet de recherche comme étant l'opération de maintenance la plus longue et la plus risquée pour les travailleurs, même si ce n'est pas la plus fréquente. Cette analyse de risque permet de développer, de façon théorique, une procédure plus sécuritaire de réglage des pressions, dont l'effet devrait être quantifié par une deuxième analyse de risque après modification de la procédure de réglage.

Les sections qui suivent présentent la méthodologie utilisée pour documenter les différents phénomènes dangereux dans l'activité de travail, ainsi que les résultats obtenus et les pistes de

³ Base de données EPICEA, INRS, <http://www.inrs.fr/epicea>, ident : 8435, tête d'abattage élagueuse.

solution proposées visant à réduire les dommages aux travailleurs. Le rapport se termine sur une conclusion qui inclut des recommandations.

2. MÉTHODOLOGIE

Les données analysées dans cette étude proviennent d'études antérieures [1], ainsi que de l'analyse ergonomique de l'activité de travail et de l'analyse de risque effectuées dans le présent projet, dans le but de répondre aux deux objectifs suivants :

- documenter l'activité des opérateurs pour mieux comprendre les phénomènes dangereux et les situations dangereuses pouvant mener à des accidents lors des interventions sur la tête d'abattage;
- réaliser une analyse de risque pour les opérations de réglage des pressions et proposer des moyens de réduction du risque.

Premièrement, les données d'accidents issues de l'activité de recherche préliminaire ainsi que les données de deux entreprises ayant participé à cette recherche ont été utilisées afin d'identifier des situations dangereuses par rapport aux erreurs de commande, au travail d'équipe et aux environnements de travail (chapitre 3).

Ensuite, une analyse ergonomique de l'activité de maintenance a été réalisée pour répondre au premier objectif (chapitre 4). Pour cela, des observations libres des activités réelles de travail dans la forêt ont été effectuées, des entretiens directs avec les travailleurs (opérateurs d'abatteuse à tête multifonctionnelle) ont été réalisés et des analyses ont été effectuées à partir de séquences vidéo tournées lors des observations libres. Des entretiens réalisés lors de l'activité de recherche préliminaire [1] avec des opérateurs de tête d'abattage, des mécaniciens et des formateurs avaient permis de cibler plusieurs circonstances pour lesquelles il y a de fortes chances d'apparition de situations dangereuses, soit :

- lorsque l'opérateur intervient manuellement sur la tête d'abattage ou à proximité;
- lorsque plusieurs opérateurs sont simultanément à proximité de la tête d'abattage.

Dans ce projet, ces deux types d'activités ont fait l'objet d'observations systématiques et ont aussi été mis en contexte par rapport à l'ensemble des activités réalisées par un opérateur durant son quart de travail. Ces observations ont été réalisées tout au long de l'année dans différentes conditions climatiques, dans différentes régions et dans différents peuplements forestiers (Tableau 1).

Le protocole de recherche avait pour objectif d'observer des travailleurs possédant des niveaux d'expérience et de formation différents. Les quatre types de travailleurs suivants ont donc été observés :

- Formateur avec de l'expérience
- Travailleur nouvellement formé sans expérience
- Travailleur non formé avec une grande expérience
- Travailleur non formé avec une expérience limitée en abattage mécanisé.

Ces observations ont permis de filmer un peu plus de 53 heures d'activités. Quarante-quatre séquences importantes ont été extraites de ces films à différents moments, lorsque l'opérateur sort de sa cabine pour intervenir sur la tête d'abattage et lorsque deux opérateurs interviennent simultanément (le réglage des pressions est inclus dans cette seconde catégorie).

Tableau 1 : Détails des observations réalisées

Région	Saison	Forêt	Opérateur	Age	Lien d'emploi
Gaspésie	Printemps début mai	Mixte	Expérimenté formateur	35-45 ans	Employé
Saguenay	Été	Résineux	Non formé avec expérience	30-40 ans	Employé
Lac St-Jean	Automne fin octobre	Résineux	Non formé sans expérience	20-30 ans	Employé
Lac St-Jean	Automne fin octobre	Résineux	Jeune formé CFP	20-30 ans	Employé
Outaouais	Hiver mi décembre	Mixte et plantation	Non formé avec expérience	45-55 ans	Propriétaire de la machine
Abitibi	Hiver fin janvier	Résineux	Expérimenté formateur	35-45 ans	Employé
Centre-du- Québec	Hiver fin février	Mixte	Non formé avec expérience	30-40 ans	Propriétaire de la machine

Des séquences vidéo tournées durant plusieurs quarts de travail et un montage vidéo réunissant en particulier les opérations de maintenance ont permis de réaliser des analyses détaillées, soit le minutage des interventions, les déplacements de l'opérateur et les incidents. L'analyse de ces données permet aussi de décrire la variabilité des interventions et des méthodes, des contextes environnementaux et climatiques, des équipements et véhicules utilisés. L'utilisation d'un enregistreur de données n'a pas été jugée nécessaire par l'équipe de recherche pour améliorer la précision de l'analyse effectuée.

Par la suite, une analyse du risque et la réalisation d'un arbre de défaillance ont été effectuées par l'équipe de recherche à partir de l'analyse des séquences vidéo (chapitre 5). Pour cela, l'équipe de recherche a utilisé la méthode d'analyse du risque développée conjointement par l'IRSST et la CSST au début des années 2000. Pour l'arbre de défaillance, l'équipe de recherche a utilisée une méthode de travail basée sur celle de Watson et Allison des laboratoires Bell [11], méthode déjà utilisée par des membres de l'équipe pour la création d'un arbre de défaillance pour les convoyeurs à courroie [12].

3. LES DONNÉES D'ACCIDENTS

Il est difficile d'obtenir des statistiques d'accidents reliées aux équipements forestiers, compte tenu que le matériel utilisé peut être classé dans plusieurs catégories ou mal identifié dans les bases de données utilisées. Par exemple, dans le cas de l'accident mortel survenu en 2000 cité précédemment, la machinerie était une excavatrice John Deere munie d'une tête d'abattage Hultdins, mais elle était classée comme « véhicule mécanique d'usine ou industriel, non classé ailleurs (n.c.a.) » et non comme « abatteuse-tronçonneuse ou abatteuse-empileuse ». Ce type d'erreur tend à disparaître au fur et à mesure que les nouvelles abatteuses remplacent les machines excavatrices modifiées.

Deux extractions différentes de la base de données de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) ont donc été réalisées à l'IR SST au cours de l'année 2002 (Tableau 2) pour tenter d'obtenir un portrait le plus fiable possible de cette problématique. La première extraction (a) concerne les années 1995 à 2000, avec l'agent causal défini comme suit :

- « machinerie forestière » (compris entre 32300 et 32390),
- classé comme « exploitation forestière » (CAEQ 0411),
- dans les unités CSST « opérations forestières ou transformation en bois d'œuvre avec exploitation forestière » (12010, 14010 ou 23020),
- dont les accidents sont décrits comme « coincé ou écrasé par de l'équipement ou des objets, n.c.a. » ou « coincé par de l'équipement ou de la machinerie en marche ».

La seconde extraction (b) concerne aussi les années 1995 à 2000, avec un élargissement de l'agent causal défini comme :

- « machinerie forestière » (compris entre 32300 et 32390),
- camions (82500 à 82900),
- VTT (84000 à 84900),
- véhicules mécaniques d'usine ou industriels (85000 à 85900),
- complété par les « services forestiers » (CAEQ 0511),
- répertoriés par la CSST dans l'unité « travaux sylvicoles » (12020),
- dont les accidents sont décrits comme « coincé ou écrasé par de l'équipement ou des objets, n.c.a. » ou « coincé par de l'équipement ou de la machinerie en marche ».

Tableau 2: Résultats de deux extractions de la base de données de la CSST et calcul des résultats par accident retenu

	Extraction (a)	Extraction (b)
Nombre d'accidents retenus	18	28
Nombre de jours d'arrêt	3 116	4 463
Déboursé – indemnité de remplacement du revenu (IRR)	134 500 \$	209 000 \$
Déboursé autre	213 500 \$	255 000 \$
Déboursé total	348 000 \$	466 000 \$

La première extraction a permis de répertorier 18 accidents totalisant plus de 3 100 jours d'arrêt pour un coût total de 348 000 \$, soit 173 jours d'arrêt et 19 333 \$ par accident. La seconde extraction a permis de répertorier 28 accidents, l'élargissement du périmètre d'extraction n'a donc permis d'ajouter que 10 accidents. 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 16 643 \$ par accident, soit presque quatre fois le déboursé moyen par accident au Québec, tous secteurs confondus (Tableau 3). De plus, il apparaît que la moyenne des « déboursés par accident » pour le matériel mécanisé en forêt est même plus grande que dans presque 94% des cas d'accidents pour les presses à métal, des machines pourtant reconnues depuis longtemps comme étant très dangereuses (Tableau 4).

Tableau 3 : Résultats par accident retenus de deux extractions de la base de données de la CSST et comparaison avec la moyenne des accidents

	Extraction (a)	Extraction (b)	Moyenne par accident, tous secteurs confondus, pour des accidents survenus il y a plus de 3 ans (source IRSST)
Nombre d'accidents retenus	18	28	
Nombre de jours d'arrêt par accident retenu	173	159	
Déboursé total par accident retenu	19 333 \$	16 643 \$	4 450 \$

Tableau 4 : Statistiques d'accidents (source CSST)

Machine	Données CAEQ (secteur)	Nombre de dossiers	Nombre de jours perdus (moyenne/accident)	Montant déboursé (moyenne/accident)
Matériel mécanisé en forêt		28	159	16 600 \$
Presses à métal (1995 à 1998)	Produits électriques	38	85,8	5 792 \$
	Fabrication de produits en métal	153	93,9	7 199 \$
	Matériel de transport	15	142,7	27 114 \$
	Machines	29	67,0	8 057 \$

Un point important à souligner est à l'effet que ces données d'accidents ne répertorient que ceux qui ont été acceptés ou indemnisés par la CSST et pas du tout les incidents. La notion de triangle de sévérité utilisée par l'INRS en France [13] indique que les travailleurs sont exposés plus souvent qu'on peut le croire à des situations dangereuses donnant lieu à des dommages variés aux travailleurs.

Pour un décès, on recense:

- 87 accidents avec une incapacité permanente et
- 1305 accidents avec un arrêt de travail.

Des données de quasi-accidents (appelés ici incidents) ont pu être recueillies dans une entreprise de la région du Saguenay pour les années 1999 et 2000. Ces incidents sont transcrits, sans modification, au Tableau 5. Malheureusement, cette compilation d'incidents n'était pas complétée systématiquement dans l'entreprise, donc nous ne pouvons pas juger de sa représentativité.

Tableau 5 : Les événements « passé proche » dans une entreprise en 1999-2000

Incident	Description
1	« L'opérateur a actionné l'ouverture du cab pendant qu'un mécanicien était debout sur le marchepied de l'abatteuse. »
2	« En calibrant l'ordinateur pour les longueurs. Le mécanicien croyait être en mode manuel et en réalité il était en mode auto. L'opérateur s'approche pour mesurer et un autre billot est sorti. Danger de frapper à la tête. »
3	« Le mécanicien travaillait près de la tête d'abatteuse, l'opérateur en arrêtant l'ordinateur, la scie est descendue (possibilité d'écrasement). »
4	« L'opérateur de l'abatteuse a ouvert le panneau du côté cabine pendant qu'un mécanicien se trouvait dessus. »
5	« Lors du transport de l'abatteuse sur le fardier, le bras de mise énergie à zéro a baissé. »
6	« L'abatteuse était stationnée le mât étiré pour tourner les dents, le moteur était en marche. L'opérateur se trouvait sur le siège pour effectuer des travaux sur la chaufferette qui est située derrière celui-ci. Ces compagnons s'étaient approchés de la scie pour y travailler. L'énergie était coupée comme il se doit. L'opérateur tenait le bras pour se tourner sur le siège et ainsi éviter de l'accrocher. Mais en voulant déplacer une boîte de guenilles il a fait tomber la commande de mise à énergie zéro. À l'instant son manteau tirait sur la fonction du mât en montant et mis brusquement celui-ci en mouvement vers le haut. »

La lecture et l'analyse de ces événements « passé proche » nous indiquent que :

- Dans cinq des six incidents, plusieurs personnes sont présentes à proximité de la tête d'abattage. En général une personne est en cabine et l'autre est au sol.
- L'événement dangereux survient suite à une action, volontaire ou non, de l'opérateur en cabine. Ces incidents surviennent lors de diverses interventions sur la tête d'abattage ou sur le véhicule ainsi qu'au moment de faire une intervention de routine, comme la mesure des longueurs. Dans le présent document, les événements dangereux seront aussi appelés erreurs de commande.
- La possibilité d'évitement du dommage est un facteur à ne pas éliminer.

La Figure 1, inspirée du document ED913 de l'INRS [14] résume bien ces conditions. L'analyse ergonomique se concentre donc principalement sur les deux premières conditions et les situe par rapport au contexte global de l'activité de l'opérateur.

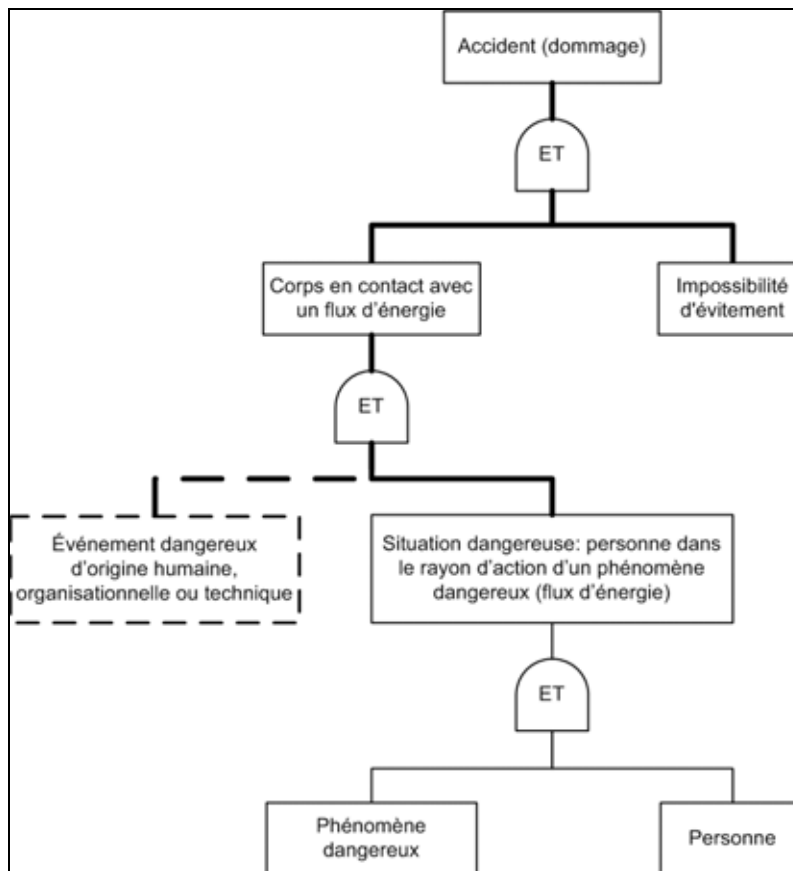


Figure 1: Conditions d'un « passé proche »

4. LES INTERVENTIONS HUMAINES SUR LA TÊTE D'ABATTAGE ET À PROXIMITÉ

Ce quatrième chapitre présente les résultats de l'analyse vidéo ainsi que les données recueillies lors des visites sur le terrain. Plus particulièrement, nous examinons les interventions d'un seul opérateur, directement sur la tête d'abattage ou dans un périmètre rapproché, ainsi que le cas où deux travailleurs sont impliqués simultanément, puisqu'il s'agit des deux situations identifiées comme étant les plus dangereuses.

4.1 La tête d'abattage, une machine dangereuse

La tête d'abattage multifonctionnelle est un outil hydraulique qui exige puissance et mobilité. En effet, elle est composée de mécanismes de coupe, d'entraînement et d'ébranchage. La Figure 2 illustre la position de la tête d'abattage en position verticale et ouverte, position utilisée, par exemple, pour des opérations de nettoyage et de graissage.

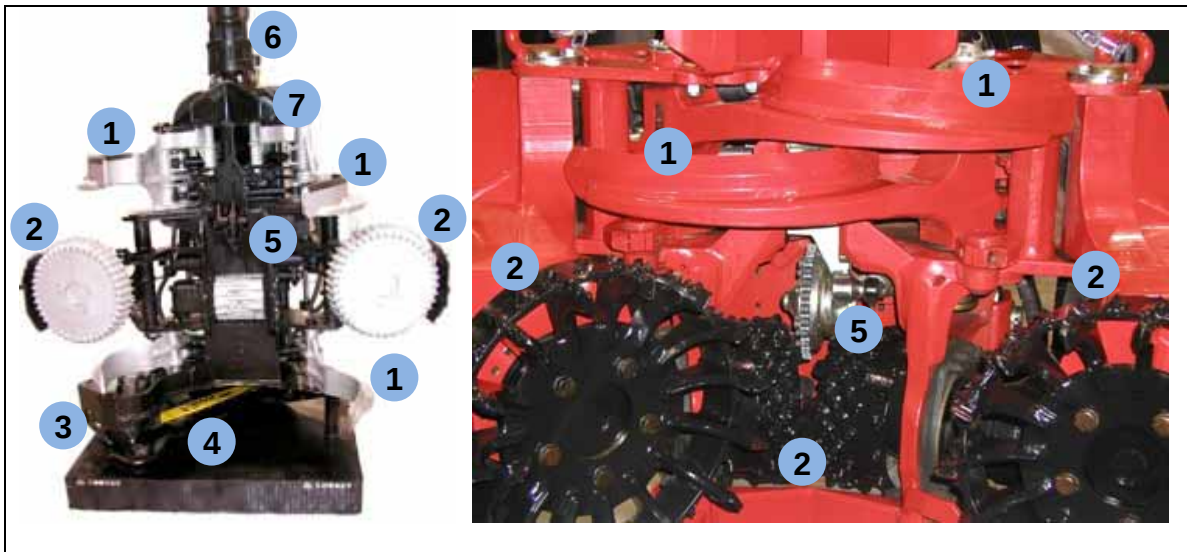


Figure 2: Tête d'abattage multifonctionnelle en position verticale et ouverte

Les différents composants d'une tête d'abattage sont :

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1 - Couteaux d'ébranchages mobiles | 5 – Roue de mesure |
| 2 - Rouleaux d'alimentation ou d'entraînement | 6 - Rotateur |
| 3 - Carter de scie | 7 - Couteau d'ébranchage fixe |
| 4 - Lame de scie | |

Dans cette position, la zone dangereuse, située entre les deux rouleaux d'entraînement et les quatre pinces, est très accessible. Il importe donc de rendre cette zone non dangereuse (donc d'éviter tout mouvement intempestif des organes hydrauliques) au moment précis où l'opérateur est dans cette zone. Ceci est rendu possible de plusieurs manières :

- en arrêtant le moteur;
- en actionnant l'organe de coupure de la puissance hydraulique de la tête d'abattage ou de tout le véhicule;

- en coupant le circuit de commande (pression de pilotage) de la machine ou de la tête d'abattage⁴.

Quelle que soit la manière choisie, il est nécessaire de cadenasser ces dispositifs pour éviter qu'un second opérateur ne puisse les rétablir par inadvertance.

La diversité des abatteuses forestières (excavatrice modifiée ou abatteuse forestière d'origine) et des têtes d'abattage fait en sorte qu'il n'est pas possible d'établir une procédure de sécurisation uniforme pour toutes les machines. Par exemple, certaines machines ont des organes de coupe très peu accessibles ou même absents, démotivant largement leur utilisation par les travailleurs.

Comme nous pouvons le remarquer sur la Figure 2, une tête d'abattage présente de nombreux angles rentrants et de nombreuses possibilités de coincement, de sectionnement ou d'écrasement. Les opérateurs rencontrés dans le cadre de cette étude disent avoir des comportements de travail sécuritaires et semblent bien connaître les dispositifs de sécurité existant sur leur propre machine (méthode d'utilisation, effet de leur déclenchement, réponse mécanique de la machine, etc.).

Théoriquement, lorsque la tête d'abattage est hors fonction, l'opérateur est en sécurité⁵. Mais sur le terrain de coupe, on constate que les prescriptions liées à l'utilisation systématique des dispositifs de sécurité présents dans les véhicules (notamment la fermeture du moteur et le cadenassage) ne sont pas toujours appliquées. Ces dernières constatations sont faites aussi bien d'après les données d'accidents, les événements « passé proche » ainsi que les observations de l'équipe de recherche sur le terrain. Dans les situations où nous avons observé que les opérateurs n'arrêtent pas systématiquement le moteur à chaque intervention, les opérateurs disent être extrêmement vigilants.

Il existe aussi un dispositif de sécurité d'origine, installé sur les abatteuses forestières [15]. Ce dispositif permet de bloquer les mouvements de la machine lorsqu'un élément est déplacé ou ouvert (porte de la cabine, accoudoir, levier, etc.). Selon la dernière étude de Giraud et al. [2], les abatteuses possèdent toutes ce dispositif, mais l'utilisation de ce dernier ne répond pas systématiquement aux règles de l'art en sécurité des machines (ouverture forcée, actionnement positif, etc.).

Il existe cependant des cas particuliers où les dispositifs de sécurité ne peuvent pas être utilisés, comme pour le calibrage des pressions hydrauliques, tâche pour laquelle la mesure des pressions ne peut se faire qu'avec la puissance hydraulique de la tête activée. De plus, pour faire ces mesures, l'opérateur est généralement aidé d'une deuxième personne en cabine pour activer chaque fonction de la tête une par une, ce qui augmente considérablement les risques pour l'opérateur. Dans des cas comme celui-ci, il est alors impossible d'utiliser une des trois séquences de sécurisation citées plus haut, et donc d'autres techniques de sécurisation doivent être développées pour minimiser les risques. C'est l'objet de la deuxième partie de ce rapport, soit l'analyse de risque et le développement d'une nouvelle procédure plus sécuritaire de réglage des actionneurs hydrauliques de la tête.

⁴ Cependant, cette dernière solution nécessite d'autres mesures complémentaires pour être certain d'éviter tout mouvement intempestif, car la puissance hydraulique demeure active.

⁵ Attention : les autres éléments de l'abatteuse (mât) et son environnement (arbres) ne sont pas considérés.

Pour mieux comprendre les raisons qui motivent un opérateur à ne pas systématiquement sécuriser ses interventions sur la tête d'abattage, il est utile de décrire et analyser les interventions manuelles et dans quels contextes elles sont faites, grâce aux extraits des vidéos des interventions filmées sur le terrain.

4.2 Les types d'interventions manuelles

Les fréquences et durées théoriques des différentes interventions manuelles de l'opérateur sur la tête d'abattage sont décrites au Tableau 6. Les quatre premières interventions sont les plus courantes et les plus courtes, tandis que le réglage des pressions est nettement moins fréquent, mais plus long et plus risqué pour le travailleur.

Tableau 6 : Fréquence et nature des interventions sur une tête d'abattage multifonctionnelle

Intervention	Fréquence	Durée
Changement de chaîne	2 à 8 fois / quart	3 à 9 minutes
Changement du guide-chaîne	2 fois / semaine à 3 fois / quart	5 à 10 minutes
Graissage / huilage	1 fois / quart (début)	5 minutes
Mesure de longueurs des troncs	2 à 3 fois / quart	3 minutes
Réglage des pressions des actionneurs hydrauliques	2 à 3 fois par an ou au besoin	Quelques heures

Dans le cadre de cette recherche (Tableau 7), un total de 53 h 33 min d'activité d'abattage a été filmé au cours des quatre saisons en 2004 et 2005, sur sept sites d'observations, dans cinq régions différentes du Québec (Gaspésie, Outaouais, vallée du Saint-Laurent, Abitibi, Saguenay-Lac St-Jean). Comme critère de sélection, nous avons utilisé le fait que la machine soit équipée d'une tête d'abattage multifonctionnelle et avons essayé de varier au mieux les autres paramètres (saison, type de forêt, opérateur et région).

Quarante-quatre séquences importantes ont été extraites de ces films. L'annexe I décrit brièvement ces 44 séquences, réparties sur les sept sites de travail. Le Tableau 8 montre les principales catégories d'interventions, par ordre décroissant de récurrence.

Tableau 7 : Éléments techniques des observations réalisées

Région	Saison	Forêt	Opérateur	Tête multifonctionnelle	Abatteuse	Roues/ chenilles
Gaspésie	Printemps Début mai	Mixte	Expérimenté formateur	FMG	Timberjack 1270D	Roues
Saguenay	Été	Résineux	Non formé avec expérience	Rotobec	Tigercat 822	Chenille forêt
Lac St-Jean	Automne fin octobre	Résineux	Non formé sans expérience	Warratah	John Deere Logger 2054	Chenille forêt
Lac St-Jean	Automne fin octobre	Résineux	Jeune formé CFP	Logmax	Caterpillar 320	Chenille forêt
Outaouais	Hiver mi décembre	Mixte	Non formé avec expérience	Logmax	Neuson HV 11002	Chenille forêt
Abitibi	Hiver fin janvier	Résineux	Expérimenté formateur	Valmet	Valmet 911	Roues
Centre-du- Québec	Hiver fin février	Mixte	Non formé avec expérience	Robotec	Pelleteuse modifiée	Chenilles

Tableau 8 : Catégories d'interventions manuelles de l'opérateur sur la tête d'abattage

Intervention	Remarques
Interventions sur le guide-chaîne ou la chaîne (changement, redressement, pose) 25 séquences (57 % des interventions)	Ces interventions sont les plus fréquentes, d'une durée relativement courte mais variable, soit de 1 min 24 sec à 10 min 55 sec, avec une moyenne de l'ordre de 4 min. Plusieurs raisons peuvent causer un allongement du temps d'intervention : temps de déplacement entre le véhicule et la tête d'abattage, temps pour enfiler un manteau, diagnostic erroné, niveau d'expérience de l'opérateur, incidents multiples comme la perte de la chaîne dans la neige nécessitant une recherche prolongée, ronde dans le bois pour anticiper les obstacles, etc. Comme on le verra dans les chapitres suivants, l'allongement du temps d'intervention peut avoir un effet sur la température dans la cabine et sur la possibilité qu'un second individu s'approche du périmètre du véhicule, ce qui augmente les risques d'accidents.
Mesure de longueur des troncs, 7 séquences (16% des interventions)	Ces interventions sont la deuxième source d'intervention de l'opérateur et correspondent à la vérification de la longueur des troncs. Si le résultat est dans les marges voulues, l'opérateur remonte en cabine, sinon il doit réajuster le réglage du système de mesurage. La précision de la longueur est très importante, car elle influence la qualité des billots de bois et donc leur valeur.
Inspection/nettoyage/ graissage 1 séquence (11 % des interventions)	Il s'agit d'un entretien préventif à réaliser au début de chaque quart de travail, et non une réparation.

Intervention	Remarques
Réparation hydraulique, 3 séquences (7 % des interventions)	Les réparations hydrauliques sont essentiellement des changements de tuyaux flexibles.
Calibrage des pressions de la tête 3 séquences (7 % des interventions)	Le calibrage des pressions de la tête est réalisé rarement mais la longue durée et la nature de la tâche en font une intervention risquée.
Changement de quart, 1 séquence (2% des interventions)	

Le temps moyen entre deux interventions de réparation est de 1 heure 12 minutes, mais le plus souvent la distribution des interventions de réparation (contrairement aux interventions de maintenance préventive) n'est pas du tout uniforme dans le temps. Il est donc important pour les opérateurs de bien prévoir, dans le coffre à outils, des pièces de remplacement pour les interventions mineures, lorsque l'abatteuse multifonctionnelle se trouve sur le parterre de coupe, loin de l'unité d'entreposage des pièces.

4.3 Sortie de l'opérateur sur le parterre de coupe

Les opérations réalisées lors de la sortie du véhicule comprennent :

- le diagnostic du problème;
- l'habillement;
- la coupure du moteur ou la mise en sécurité de la tête;
- la recherche des outils et des pièces dans le coffre à outils;
- la descente de la machine;
- le déplacement vers la tête d'abattage;
- l'intervention sur la tête d'abattage, et
- le retour en cabine.

4.3.1 Le diagnostic

Le diagnostic du problème est réalisé essentiellement en cabine. Selon la nature du problème, le diagnostic peut être instantané (casse de la chaîne) ou bien nécessiter une série de manœuvres (fuite sur un boyau hydraulique), afin d'en préciser sa nature ou sa localisation.

4.3.2 Habillement

Les résultats de l'observation des travailleurs dans leurs abatteuses montrent que le temps pris pour sortir du véhicule est très variable : de 3 secondes en été, à plus de 56 secondes en hiver. En effet, suivant les saisons et la météo, le travailleur peut avoir à enfiler un imperméable ou un manteau d'hiver, une tuque ainsi qu'une ou deux paires de gants, en plus des équipements de protection individuelle (EPI : casque, gants de travail, bottes d'hiver, etc.). Compte tenu de l'espace restreint à l'intérieur des cabines, les travailleurs doivent demeurer assis pour enfiler les vêtements et les EPI, ce qui augmente le risque d'accrocher des commandes et de provoquer des

mouvements intempestifs de la tête d'abattage, comme ce fut le cas dans un « passé proche » documenté au Tableau 5. Tant qu'une seconde personne n'est pas en situation dangereuse, cet événement ne peut pas être classé comme un événement dangereux. Le même scénario se reproduit après l'intervention, lors de la séance de déshabillage.

4.3.3 Mise en sécurité de l'abatteuse multifonctionnelle

La sécurité, lors de l'intervention, peut être assurée par deux moyens : l'utilisation d'un dispositif de sécurité ou le cadenassage de l'abatteuse forestière.

La mise en sécurité de la plupart des abatteuses lors des interventions observées repose sur l'application d'une fonction de sécurité [15] immobilisant la tête d'abattage et le mât, fonction actionnée par le déplacement ou l'ouverture d'un élément. L'élément servant à actionner ce dispositif de sécurité est toujours en cabine (porte, accoudoir, position du siège, levier), mais il peut souvent être contourné sans effort (par exemple, passage par-dessus le levier). De plus, les interrupteurs du dispositif de sécurité sont rarement installés selon les règles de l'art, car ce ne sont souvent pas des interrupteurs à contacts à ouverture forcée dans un montage à actionnement positif. Enfin, la majorité d'entre eux agit sur le circuit de commande de la tête et du mât, et non sur le circuit de puissance [2].

Le cadenassage de l'abatteuse consiste à arrêter le moteur, puis à cadenasser un élément qui interdit alors le redémarrage de la machine par une tierce personne. Cependant, les éléments à cadenasser (généralement un par machine) sont situés à différents endroits plus ou moins accessibles de la machine (en cabine; à l'extérieur de la cabine sous la porte, sous l'avant de la cabine, du côté opposé à la porte; etc.). Les déplacements pour les atteindre sont parfois potentiellement dangereux (possibilité de perte d'équilibre, de chute, de heurt dans la cabine, etc.). Enfin, l'équipe de recherche a vu quelques systèmes de cadenassage non conforme aux principes reconnus : l'un était constitué d'un capot sur la clé de contact (il permettait donc de cadenasser la machine en fonction), et l'autre était monté sur le démarreur, permettant aussi de cadenasser la machine en fonction mais l'empêchant de redémarrer.

Les deux localisations principales (en cabine ou en dehors de la cabine) induisent des problématiques différentes et opposées :

- Si l'élément à cadenasser est en cabine, le cadenassage est rapide et aisé pour l'opérateur principal et il peut aussi procéder à la vérification du cadenassage sans bouger de la cabine. Par contre, cela oblige tous les autres travailleurs qui doivent cadenasser à monter en cabine et à en redescendre, et à refaire cet enchaînement lors du decadenassage. Ces opérateurs sont donc mis en situation dangereuse lors de chaque montée-descente.
- Si l'élément à cadenasser est en dehors de la cabine, l'opérateur principal doit descendre pour cadenasser, puis remonter en cabine pour procéder à la vérification du cadenassage. Les autres travailleurs peuvent, par contre, mettre leur cadenas sans avoir à monter en cabine. Seul l'opérateur principal est mis en situation dangereuse lors de chaque descente-montée.

4.3.4 Recherche d'outils et de pièces de rechange dans le coffre à outils

La position du coffre à outils varie aussi beaucoup d'un véhicule à l'autre. Dans une majorité de cas, ce coffre est accessible de l'extérieur de la cabine, mais n'est pas accessible du sol, ce qui

oblige le travailleur à prendre tout son matériel et descendre avec les mains encombrées. La descente est donc réalisée sans respecter la règle des trois points d'appui [16]. Si le travailleur veut retourner vers son coffre, il devra alors remonter sur le véhicule avec les risques de chute associés.

4.3.5 Descente de la machine

La hauteur du tablier du véhicule et l'absence fréquente de marches⁶ obligent l'opérateur à poser ses pieds sur des surfaces inégales (roues, chenilles) et possiblement glissantes. Peu de machines disposent de vraies marches d'accès assez grandes où il est possible de poser le pied à plat. De plus, les conditions dans lesquelles sont utilisées ces machines accentuent les risques de glissement et de chute (présence d'eau, de neige, de glace, de boue, de sève, etc.). Les risques de chute et de blessures sont très importants, d'autant plus que les travailleurs descendent parfois avec leurs outils en main. Ils sont donc moins en mesure de stabiliser leur posture en cas de perte d'équilibre. La règle des trois points d'appui ne peut donc être respectée [16]. Les figures suivantes montrent des configurations possibles de plusieurs véhicules observés et les hauteurs de cabines.

La Figure 3(a) montre une petite abatteuse forestière sans échelle, mais dont la cabine est légèrement pivotée afin que l'opérateur puisse profiter de la présence de la chenille et ainsi éviter de sauter directement au sol lors de la descente du véhicule. La Figure 3(b) montre une abatteuse sans échelle prévue pour grimper sur la chenille (environ un mètre de haut). Une « marche » permettant difficilement de soutenir le pied à plat est présente sur le côté de la structure de la chenille, mais l'opérateur ne l'utilise pas car la porte de la cabine est située en avant de cette dernière et non sur son côté gauche.



Figure 3 : (a) Abatteuse sans échelle - cabine légèrement pivotée; (b) Abatteuse sans échelle.

⁶ Un prix innovation de la CSST en 2008, catégorie PME, porte sur l'amélioration de l'accessibilité de ces machines en y ajoutant une échelle escamotable (source : http://www.csst.qc.ca/asp/innovation/a_2008_sag.html).

Sur une autre machine, l'escalier est positionné entre les deux roues avant, alors que la porte de la cabine donne sur le côté... De fait, l'opérateur n'utilise pas l'escalier, mais utilise plutôt les pneus ou d'autres éléments du châssis métallique comme points d'appui pour les pieds afin d'accéder à la cabine. De plus, la marche sur le châssis métallique en hiver est dangereuse, car ce dernier est très glissant lorsque qu'il est enneigé.

Avec ou sans échelle, la dénivellation finale entre le dernier support pour le pied et le sol nécessite, dans la majorité des cas, un saut sur un sol très inégal, dissimulé en été par le couvert végétal et en hiver par la neige. Les contraintes sont telles pour les opérateurs que des solutions ont même été proposées aux prix innovations de la CSST en 2008⁷.

La descente du véhicule constitue donc une situation dangereuse en raison de la forme du véhicule (formes métalliques pointues ou acérées), du sens d'ouverture de la porte (vers l'extérieur), de l'absence fréquente de marches pour accéder au sol, de la présence fréquente d'outils ou de pièces de rechange dans les mains de l'opérateur et de déplacements quasi incontournables sur les roues ou les chenilles. Le moindre événement dangereux non récupéré (perte d'équilibre, glissade, trébuchement, etc.) induira inévitablement une blessure bénigne (contusions) ou grave (foulure, fracture, commotion, etc.). À l'occasion, la récupération de la chute par l'opérateur, ou l'évitement de la chute, peut causer un dommage (effort excessif, heurt lors d'un mouvement réflexe, etc.).

4.3.6 Déplacement vers la tête d'abattage

La technique de coupe utilisée avec les abatteuses multifonctionnelles permet de favoriser la régénération de la ressource et de limiter le compactage du sol. Cette technique consiste à laisser les résidus d'abattage au sol devant le véhicule, dans la trajectoire du futur sentier d'intervention. Cependant, ceci complique le déplacement de l'opérateur hors de sa cabine, car les résidus de coupe empilés dans la trajectoire de l'abatteuse forment un épais tapis mou. La zone de déplacement est donc composée non seulement de souches, de résidus de troncs et de branchages parfois glissants, mais aussi de roches plus ou moins masquées, d'ornières, etc., le tout accompagné de boue, d'eau, de glace ou de neige selon la saison. Ces difficultés sont amplifiées lorsque l'opérateur a les mains occupées à tenir des outils ou des pièces de remplacement (rattrapage de l'équilibre plus difficile) et lorsque la tête d'abattage est placée en avant ou sur les côtés du véhicule.

4.3.7 Intervention sur la tête d'abattage

Pour faciliter l'intervention sur la tête d'abattage, l'opérateur positionne l'abatteuse et la tête dans une certaine position et à un endroit approprié, selon principalement l'état du sol et le type de réparation à réaliser. Le plus souvent, le véhicule sera reculé de quelques mètres sur le chemin de coupe afin de profiter du couvert végétal dégagé et tassé. Sur un terrain à pente variable, ce recul permet aussi de mettre le véhicule le plus à niveau possible, car l'opérateur recherche une bonne stabilité pour le véhicule et pour lui-même. Si le couvert végétal est trop encombré,

⁷ Conception et installation de marches escamotables sur une machine forestière, Saguenay, 2008.

l'opérateur peut être amené à dégager un espace à l'aide de la tête. Ensuite, la machine doit être arrêtée pour effectuer l'intervention⁸.

Les figures suivantes (Figure 4 à Figure 7) montrent différentes positions de la tête pour effectuer des interventions variées. La Figure 4 montre la tête d'abattage déposée au sol, les pinces vers le sol. Cette position est souvent utilisée pour la mesure des longueurs. Dans ce cas, le tronc est encore dans la tête.



Figure 4 : Tête déposée au sol, pinces vers le sol

La tête peut aussi être assise sur le carter de la scie comme montré à la Figure 2. Cette position permet d'accéder à la zone entre les rouleaux et les pinces, par exemple pour enlever une branche coincée tout près de la roue de mesure.

La Figure 5 montre deux photos de la tête d'abattage déposée en sens inverse de la Figure 4. Cette position permet un bon accès à la chaîne tout en limitant les déplacements possibles du mât. Elle montre aussi une position possible de l'opérateur : à genoux avec le rachis en torsion et en flexion.



Figure 5 : Tête déposée au sol en sens inverse de la Figure 4.

⁸ Le Règlement sur les travaux forestiers indique à l'article 23 qu' « Aucun entretien, réparation ou nettoyage ne doit être effectué lorsqu'une machine est en marche. Ces travaux ne peuvent être effectués sur des mécanismes alors qu'ils sont soumis à des pressions hydrauliques. » (§3. Travaux d'entretien et de réparation).

Cependant, les opérateurs essaient dans la mesure du possible de travailler debout plutôt qu'à genoux afin d'améliorer le confort et l'accessibilité (sol dur, boue, eau,...), et de limiter les risques de blessures aux genoux. Les photos de la Figure 6 montrent deux cas de travail où l'opérateur est en position debout⁹, alors que la tête d'abattage est suspendue ou posée au sol. D'après les observations sur le terrain, la tête suspendue à environ 1 mètre du sol avec les pinces vers le bas est la position la plus utilisée pour réaliser les changements de chaîne ou les réparations simples au niveau de la chaîne et du guide-chaîne.



Figure 6 : Opérateur debout travaillant sur la tête suspendue à environ 1 mètre du sol, avec les pinces vers le bas (gauche) ou la tête posée au sol (droite)

Une autre possibilité est que la tête soit suspendue devant, tel que montré à la Figure 7. L'opérateur (qui a effectué un changement de chaîne pour l'équipe de recherche) est debout sur les chenilles, à une hauteur d'environ 1 mètre du sol, d'où le risque de chute accru lors de la réparation. Par contre, cette position a l'avantage de ne pas le faire descendre de la machine ni de le faire marcher sur le parterre de coupe. Dans le cas observé, la machine a été modifiée par son propriétaire. La plate-forme a été soudée au châssis entre les deux chenilles pour permettre un accès directement de la cabine. Cette plate-forme constitue en elle-même un rangement (sous les pieds du travailleur) et donne accès à un coffre de rangement des chaînes et des outils situé à droite de la cabine (derrière l'opérateur). Cependant, la conception de la plate-forme est à améliorer car, par exemple, les accès aux rangements réduisent la stabilité du travailleur et le matériau utilisé (acier) sera glissant s'il est mouillé ou enneigé (voir les éléments de solution au Tableau 10, section 6.1.1), ce qui explique peut-être le fait que le travailleur soit debout sur les chenilles pour sa démonstration.

Étant donné que 57 % des interventions concerne le système chaîne/porte chaîne, elles pourraient, en théorie, toutes se réaliser à partir d'une telle plate-forme. De fait, ceci éliminerait l'action monter/descendre de la cabine/sol et les besoins de déplacement au sol. Le temps d'intervention serait alors plus court que pour une intervention similaire faite au sol, comme nous l'avons constaté lors de nos observations.

⁹ Attention : il convient de toujours tourner la tête afin que le travailleur ne se trouve pas directement sous la trajectoire de chute du mât.



Figure 7 : Tête suspendue devant l'abatteuse

Comme on peut le voir aux figures précédentes, chaque type d'intervention nécessite une accessibilité différente aux diverses parties mécaniques de la tête. Les positions, à la fois de la tête d'abattage et de l'opérateur, sont donc très variables et l'opérateur demeure donc le meilleur juge du positionnement adéquat et sécuritaire de celle-ci, car ces positions dépendent du couvert végétal, de la topologie du sol, de la réparation ou de la maintenance à effectuer et du modèle de tête d'abattage.

4.4 La proximité des autres travailleurs autour de l'abatteuse

Les interventions effectuées par plusieurs personnes autour du véhicule sont parmi les plus dangereuses. Du point de vue législatif, le Règlement sur les travaux forestiers est muet sur le cadenassage, mais le RSST en traite à l'article 185. Pour analyser ces situations de travail et comprendre les stratégies d'intervention, sept séquences vidéo où deux opérateurs étaient présents à proximité du véhicule ont été extraites des bandes originales. Voici les quatre situations illustrées par ces 7 séquences et leur récurrence :

- Calibrage des pressions, 3 séquences;
- Nettoyage et lubrification de début de quart, 2 séquences;
- Intervention mineure sur la chaîne et le guide-chaîne, 1 séquence;
- Changement de quart de travail, 1 séquence.

Dans 5 cas sur 7, un des deux opérateurs est monté en cabine alors que le second est resté au sol et ce dernier est dans un périmètre rapproché de la tête d'abattage. Nous pouvons alors dire que l'opérateur au sol est dans la zone de danger, car il peut être atteint par la tête multifonctionnelle.

4.4.1 Interventions de courte durée

Dans un extrait vidéo d'un changement de chaîne, les deux opérateurs sont au sol. Cette séquence montre que les opérations de courte durée peuvent aussi se faire à deux (entraide entre deux opérateurs, compagnonnage, etc.), même si l'intervention est mineure et habituellement réalisée par un seul travailleur.

Cet extrait vidéo suggère aussi que les interventions réalisées par un seul travailleur, mais qui durent plus de quelques minutes, offrent la possibilité à un autre travailleur de s'approcher du véhicule. Par exemple, dans l'événement 24 de l'annexe I, après être intervenu sur la tête, l'opérateur s'est éloigné du véhicule durant plusieurs minutes pour aller faire une tournée de prospection afin de planifier la trajectoire du sentier d'intervention, en raison de la pente prononcée du terrain. Ce laps de temps, même s'il est théoriquement associé à une sortie de courte durée, est suffisant pour qu'une tierce personne (opérateur, contremaître, etc.) s'approche et éventuellement monte en cabine. Cette éventualité devra être prise en considération au moment de la formulation des pistes de solution (cf. chapitre 6).

4.4.2 Changements de quart

Les changements de quart (quand l'opérateur cède sa place à son remplaçant) sont des moments où deux travailleurs ou plus sont proches du véhicule et de la tête. C'est aussi un moment privilégié de transfert d'information entre les opérateurs [17]. L'abatteuse peut demeurer sur le parterre de coupe ou se rapprocher de l'unité d'entretien mécanique. Pour les véhicules en fonction 24 h sur 24, au moins un changement de quart a lieu sur le parterre de coupe. Une image tirée d'une séquence vidéo (Figure 8) montre le remplaçant qui monte vers le véhicule, à proximité de la tête d'abattage. Pendant ce temps, l'opérateur est encore en cabine car il vient tout juste de terminer sa dernière séquence d'abattage.



Figure 8 : Le second opérateur s'approche du véhicule alors que le premier est en cabine

L'opérateur aux commandes a reculé le véhicule et fait pivoter la cabine pour offrir un accès favorable au second opérateur, mais le moteur est encore en marche. Cette situation est dangereuse compte tenu du fait qu'il y a deux opérateurs en jeu, dont un est en cabine, en train de s'habiller ou de rassembler ses affaires (lunch, etc.) pour sortir du véhicule, alors que l'autre s'approche près de la tête. Un des événements « passé proche » répertorié (Tableau 5) présente une situation dangereuse similaire à celle-ci : un opérateur en cabine a accroché par erreur une commande et a entraîné un mouvement intempestif de la machine.

4.4.3 La maintenance périodique

Les unités d'entretien et de réparation mobiles sont installées le long des chemins forestiers, sur des sites temporaires souvent étroits. Elles sont déplacées au fur et à mesure que l'abattage progresse. On y trouve l'atelier mécanique, la roulotte, le stock de carburant et les lubrifiants. Lors des changements de quart, l'abatteuse est approchée du campement mobile au minimum une fois par jour pour des interventions de maintenance périodique (graissage, plein de carburant, inspection, nettoyage, etc.). Sur ces lieux, il est fréquent d'y retrouver d'autres travailleurs avec leurs véhicules (transporteur de bois, camionnettes du contremaître et des opérateurs, camion de ravitaillement, etc.).

Ces travailleurs ne sont pas nécessairement affectés à l'entretien de la tête, mais leur seule présence ou celle de leur véhicule rend ces situations à risque pour l'opérateur de l'abatteuse, qui doit s'assurer de ne frapper personne avec la tête d'abattage qui se balance au bout de la flèche pendant que le véhicule avance avec les commandes actives. De plus, il existe de très nombreux angles morts dans les cabines des abatteuses, et aucune machine n'est munie de rétroviseurs. Pour minimiser les risques d'accidents, certains opérateurs ont développé des comportements de prudence lors des maintenances périodiques : positionner la tête d'abattage pour minimiser les angles morts afin de voir le mieux possible les travailleurs au sol; orienter, si cela est possible, la zone dangereuse de la tête (pinces, rouleaux, scie) vers la cabine.

4.4.4 Le calibrage des pressions

Le calibrage des pressions des actionneurs hydrauliques (ou réglage des pressions) consiste à mesurer et ajuster la pression hydraulique des différentes composantes de la tête d'abattage. Cette intervention nécessite que les énergies hydraulique et électrique soient activées au niveau de la tête. En général, deux travailleurs sont présents lors de cette opération : un dans la cabine pour activer les commandes une à une et un autre proche de la tête pour mesurer et ajuster les pressions hydrauliques à l'aide d'outils (Figure 9).



Figure 9 : Calibrage des pressions des actionneurs hydrauliques

La communication entre les deux travailleurs est difficile, car le bruit du moteur masque totalement la parole. De plus, sur plusieurs machines, les vitres avant et de côté ne s'ouvrent pas et il est impossible de faire fonctionner la machine avec la portière ouverte (dispositifs de

sécurité sur la portière). Les erreurs possibles d'interprétation lors de la communication par geste (ou par radio) rendent donc ces situations dangereuses. Pour pallier ce problème, une entreprise avait adopté un mode de communication visuel similaire à celui des grutiers utilisé sur les chantiers de construction. Un document était disponible dans l'entreprise et les travailleurs étaient formés à ce mode de communication, afin de diminuer les risques d'erreurs d'interprétation.

Le travailleur qui intervient sur la tête d'abattage, habituellement un mécanicien, est muni de manomètres (pour déterminer les pressions de réglage). Ces manomètres sont souvent équipés de rallonges pour que la lecture de la pression puisse se faire à une certaine distance du point de branchement. Cependant, ceci entraîne la présence de tuyaux rigides plus ou moins longs qui traînent au sol et qui créent un risque de perte d'équilibre. Nous avons aussi observé que des mécaniciens coupent manuellement, dans un premier temps, toutes les entrées de puissance sur la tête pour ensuite les activer une à une, selon la fonction à calibrer. Ils s'assurent ainsi de ne pas s'exposer à un déplacement dangereux de la tête en cas d'erreurs de commande de la part de l'opérateur en cabine. Les fonctions qui sont les plus systématiquement coupées sont celles qui fonctionnent en mode « tout ou rien » : la rotation de la chaîne de la scie, l'avancement du guide-chaîne, le basculement de la tête (tilt) et la rotation des rouleaux.

La compagnie québécoise Rotobec¹⁰ fabrique une tête d'abattage se calibrant par une seule personne. C'est une alternative intéressante en termes de sécurité, car le seul fait de ne plus avoir de collectif de travail limite les expositions au danger. Toutes les autres marques de tête d'abattage nécessitent *a priori* un travail d'équipe pour le calibrage. Cependant, avec l'arrivée de l'électronique embarquée, il devient de plus en plus possible avec les nouveaux modèles d'abatteuses de faire un réglage mécanique préliminaire au niveau de la tête, puis de l'ajuster plus finement via l'ordinateur de bord en cabine. Cette façon de faire permet à une seule personne d'ajuster la tête d'abattage.

¹⁰ <http://www.rotobec.com/francais/produits/multifonctionnelle/index.php>

5. LES DÉTERMINANTS DE L'ACTIVITÉ ET LES RISQUES D'ACCIDENTS

Ce chapitre présente les circonstances qui peuvent raisonnablement inciter l'opérateur à ne pas systématiquement activer les dispositifs de sécurité du véhicule (fermer son moteur, cadenasser, etc.) : environnement hors cabine hostile, erreurs de commande, etc. Dans ces conditions, les interventions décrites dans les chapitres précédents peuvent devenir dangereuses.

5.1 Environnement de travail parfois hostile

Plusieurs aspects de l'environnement de travail compliquent la tâche de l'opérateur lorsque celui-ci sort de son véhicule, puisque le parterre de coupe peut être considéré comme hostile. Les visites de terrain, les photos et les entretiens ont été analysés, dans le but d'identifier les variantes extrêmes de cet environnement de travail et leurs impacts sur les décisions de l'opérateur et l'activité de travail au moment des interventions hors cabine.

5.1.1 Déplacements dangereux

La sortie à l'extérieur comporte de nombreux risques de perte d'équilibre, lors des déplacements sur le véhicule ou sur le parterre de coupe. Par temps très froid en hiver, l'adhérence des chaussures diminue pour plusieurs raisons :

- Si elles sont chaudes, elles vont faire légèrement fondre la neige ou la glace et devenir glissantes,
- Si elles sont froides, elles vont se couvrir de givre lors de la rentrée en cabine et aussi devenir glissantes une fois le givre fondu,
- L'adhérence des matériaux diminue généralement lorsque la température baisse.

Les dispositifs de cadenassage situés à l'extérieur de la cabine, qui nécessitent des déplacements sur les roues ou les chenilles de la machine, représentent un réel danger de chute. Les figures suivantes (Figure 10 à Figure 12) montrent l'emplacement de divers systèmes de cadenassage, d'origine ou ajoutés, sur des véhicules plus ou moins anciens. Sur certains modèles de machine, un dispositif de coupure (hydraulique ou électrique) existe, mais il n'est pas cadenassable.



Figure 10 : Sectionneur hydraulique principal sous l'avant de la cabine



Figure 11 : Sectionneur situé immédiatement sous le devant de la porte, à l'extérieur



Figure 12 : Sectionneur situé à l'extérieur de la cabine, sans accès prévu

De plus, certains de ces dispositifs sont aussi situés à l'arrière du véhicule, entre autres ceux qui ferment l'énergie électrique provenant de la batterie du véhicule. Ils nécessitent des déplacements supplémentaires sur le parterre de coupe avec les risques de blessure qui y sont associés. Dans ces cas, cadenasser la machine peut créer des risques supplémentaires, ce qui n'est peut être pas la solution la plus appropriée. C'est également problématique par rapport aux dangers d'apparition d'une tierce personne à proximité (cf. section 4.4.1.).

L'emplacement du point de cadenassage est donc très important pour sa bonne utilisation. Certains éléments de cette problématique ont été esquissés à la section 4.3.3 et le Tableau 9 résume cette problématique. Aucune solution n'étant idéale, un choix doit être fait entre favoriser l'opérateur principal (dispositif en cabine) ou les autres opérateurs (dispositif hors de la cabine).

5.1.2 Climats extrêmes et arrêt du moteur

La cabine de l'abatteuse est le poste de travail ainsi que le lieu de vie principal de l'opérateur, dans lequel il passe plus de huit heures par jour. C'est aussi un espace sûr¹¹, car la cabine est conçue pour résister à l'écrasement et à la chute d'objets [18], ainsi qu'à la projection de débris. C'est cependant un espace restreint, plus ou moins bruyant, fermé (vitres avant et de côté fixes,

¹¹ Voir pour cela les articles 276, 277 et 278 du RSST.

vitre arrière ouvrable seulement en cas de danger) avec une visibilité réduite. La climatisation, la ventilation et le chauffage, qui fonctionnent uniquement à l'aide de l'énergie du moteur, sont nécessaires au confort de l'opérateur.

Tableau 9 : Position du dispositif de cadenassage et ses effets positifs ou négatifs

Positionnement du dispositif de cadenassage	En cabine	Hors de la cabine
Effets positifs pour l'opérateur principal	Accessible sans quitter la cabine et avant d'accéder à la zone dangereuse Vérification du cadenassage possible sans quitter la cabine	Moins de va-et-vient dans la cabine Moins d'ouvertures de la porte
Effets négatifs pour l'opérateur principal	Va-et-vient dans la cabine qui est souvent étroite Ouverture fréquente de la porte	L'opérateur doit descendre de sa cabine pour cadenasser puis y remonter pour vérifier le cadenassage L'opérateur principal doit attendre que tous les cadenas soient enlevés avant d'enlever le sien et de remonter en cabine
Effets positifs pour les autres opérateurs		Accès généralement plus facile qu'en cabine
Effets négatifs pour les autres opérateurs	Les opérateurs doivent monter dans la cabine pour poser ou enlever leurs cadenas, puis en redescendre	

En cas de froid intense, l'arrêt du moteur, du chauffage et de la ventilation peut abaisser la température des vitres et générer de la condensation qui restreint la visibilité¹². De plus, plusieurs opérateurs ont aussi fait état de leur crainte de voir leur moteur ne pas redémarrer par temps très froid, en cas d'arrêt prolongé. Dans un centre de formation, l'instructeur nous mentionne qu'en cas de froid intense (environ -35°C), l'arrêt des activités est décrété par mesure de sécurité pour les travailleurs et pour éviter la défaillance des machines.

Inversement, lorsque l'air extérieur est très chaud et humide ou lorsque le soleil brille, la température intérieure peut fortement augmenter, à cause des grandes surfaces vitrées. Cette situation est amplifiée si la ventilation et la climatisation sont arrêtées. De plus, l'arrêt du système de refroidissement, lors d'une intervention de courte durée, pourrait provoquer une surchauffe du moteur et provoquer son usure prématurée, voire une défaillance du moteur (certains moteurs doivent tourner au ralenti pendant plusieurs minutes pour abaisser leur température avant d'être arrêtés totalement).

¹² Le rapport d'accident mortel EN-003279 [19], accident survenu en 2001 avec une chargeuse, indique que l'une des causes de l'accident est le manque de visibilité dû à de la condensation sur la vitre de la machine.

Ces craintes motivent plusieurs travailleurs à laisser leur moteur en marche durant les interventions régulières de maintenance ou d'inspection, afin de maintenir un climat tempéré et confortable à l'intérieur de la cabine. L'application du cadenassage entre donc en conflit avec les considérations de confort et de visibilité.

5.1.3 Les animaux sauvages

Lors des observations sur le terrain, quelques opérateurs ont raconté qu'un travailleur s'est déjà retrouvé face à un ours. Même si ces rencontres sont rares, les ours restent néanmoins une source de danger¹³ pour des travailleurs isolés dans le bois. Des dispositifs divers pour les effrayer ou s'en protéger (sifflet, poivre de Cayenne, etc.) n'étaient pas systématiquement présents dans la cabine des abatteuses étudiées. Pour leur part, les opérateurs pensent que le bruit du moteur fait fuir les animaux et considèrent que le moteur en marche représente une autre forme de sécurité, en maintenant les animaux sauvages éloignés.

5.1.4 Perte de clé

Le risque d'échapper la clé du cadenas dans le couvert végétal et de ne pas pouvoir la retrouver est une raison suffisamment importante pour insécuriser les opérateurs d'abatteuses. En effet, tout cadenas bien installé sur le sectionneur hydraulique principal ou sur le circuit électrique agissant sur le redémarrage du moteur ou sur le déplacement du véhicule en forêt empêchera le redémarrage de la machine. Comme le risque de perte de la clé n'est pas négligeable, et que la chance de retrouver la clé au sol est très faible, la perte de la clé représente un risque pour la sécurité de l'opérateur. Des solutions, telles que des porte-clés très voyants ou attachés aux vêtements des opérateurs, pourraient permettre de diminuer le risque de perdre la clé.

Cette inquiétude est alimentée par le fait que les travailleurs forestiers sont souvent isolés les uns des autres. L'assistance de collègues en cas d'urgence peut donc prendre quelque temps à arriver (pour certaines abatteuses, le cadenassage coupe aussi l'énergie électrique de la radio ou de la CB qui servent à communiquer avec les autres travailleurs). Enfin, l'accès en tout temps à une cabine tempérée par le moteur est synonyme de sécurité, en cas de conditions météorologiques difficiles (froid intense, vent, pluie, neige).

5.2 Les erreurs de commande et la proximité d'autrui

Les abatteuses multifonctionnelles sont équipées de commandes manuelles multiples. Quatre types de *joysticks* ont été répertoriés et sont utilisés sur des simulateurs dans les centres de formation. Ces quatre modèles sont illustrés aux Figure 13 et Figure 14. La plupart d'entre eux se déplacent sur des tracés à quatre branches en croix. Ils sont munis d'un bouton à l'avant pour l'index et de multiples boutons actionnés par le pouce à l'arrière.

¹³ Le rapport d'accident mortel EN-003464 [20], accident survenu en 2003, indique qu'un ours noir est la cause du décès du travailleur.

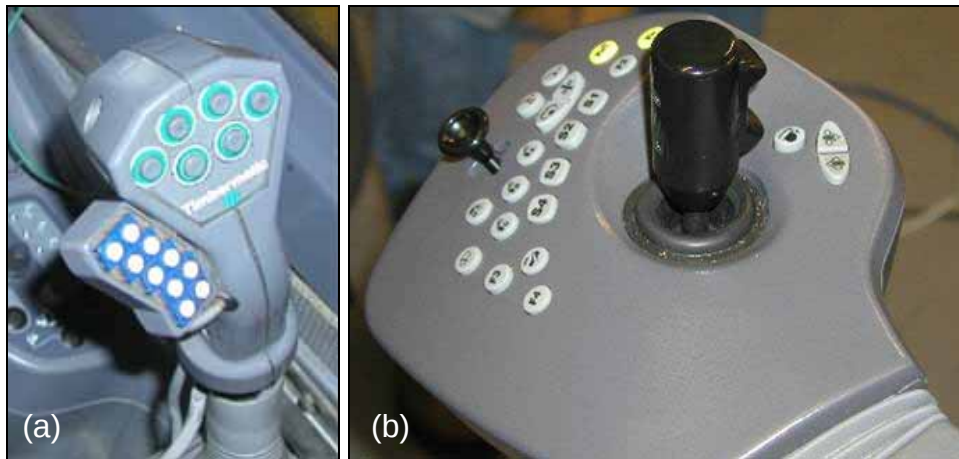


Figure 13 : (a) Commande la plus largement répandue; (b) Joystick d'un véhicule neuf

Sur le joystick de la Figure 13(a), 16 boutons sont activés par le pouce pour un total de 21 commandes pour la main droite. Il y en a à peu près autant pour la main gauche en plus des deux pédales pour les pieds, permettant de manœuvrer les roues de l'abatteuse. D'une machine à l'autre, le nombre de commandes accessibles simultanément aux pieds et aux mains varie entre 40 et 50. Cela ne prend pas en considération les commandes du tableau de bord (lumière, radio, etc.) et l'ordinateur de bord de la tête d'abattage souvent équipé de son propre clavier alphanumérique.

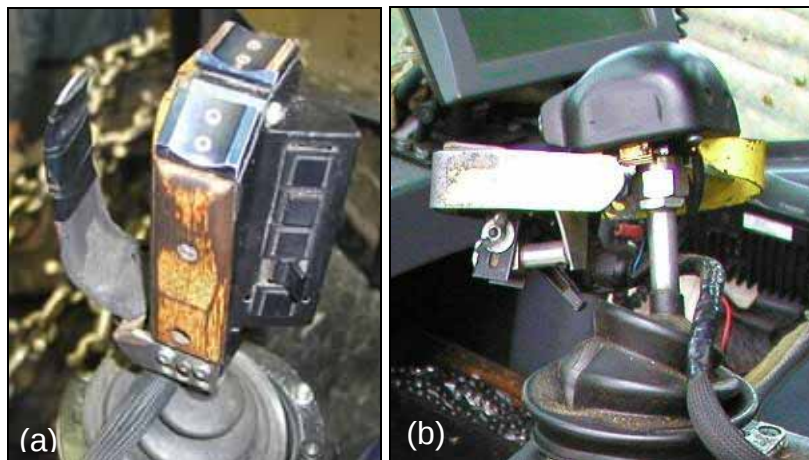


Figure 14 : (a) Joystick ancien mais très efficace, selon les opérateurs; (b) Autre ancien joystick

L'analyse par un ergonome de l'équipe d'une séquence vidéo tournée en cabine indique que plus de 20 000 actions de commande ont été effectuées par la main droite de l'opérateur en 10 heures de conduite de l'abatteuse forestière.

Selon les entretiens réalisés avec des responsables d'une école de formation en abattage mécanisé, la période d'apprentissage pour intégrer parfaitement les fonctions des commandes manuelles dure environ 1 mois pour un néophyte. Par la suite, une période d'un autre mois est dédiée à la pratique supervisée sur le terrain. Ensuite, une fois seul aux commandes d'une machine dans un contexte de récolte marchande, le délai imparti pour qu'un jeune opérateur

nouvellement diplômé acquière la performance d'un travailleur d'expérience est de plus d'un an. Rendu à un niveau élevé de performance, l'opérateur peut abattre de 800 à 1 200 arbres par quart de travail, selon les essences et la densité de la forêt.

Pour atteindre ces résultats, l'opérateur doit anticiper ses manœuvres plusieurs arbres à l'avance tant pour le positionnement de la machine par rapport aux arbres que pour la séquence d'abattage et l'orientation prévue de la chute de l'arbre. La fluidité des mouvements des mains et des doigts s'améliore avec l'expérience et augmente la rapidité d'abattage, en réalisant jusqu'à 6 commandes simultanément (rotation de la tête, ouverture des pinces, déplacement latéral et frontal du mât, etc.). Plus l'opérateur est expérimenté, plus il exécute les mouvements sans regarder les commandes, ce qui lui permet de se concentrer sur le déroulement de l'abattage. Du point de vue de la sécurité, ces habiletés développées par les opérateurs sont positives et limitent très efficacement les probabilités d'erreurs de commande [21], mais cette aisance ne garantit pas qu'aucune erreur ne puisse survenir, comme celle d'activer deux boutons à la fois ou d'activer la mauvaise commande. Les causes d'erreur sont multiples : nombre important de commandes, oubli lors du début de saison, changement de machine¹⁴, commandes personnalisables, etc. Toutefois, ces erreurs ne seront dangereuses que si d'autres travailleurs sont à proximité de la tête, sinon elles seront sans effet.

Une autre cause de déplacement intempestif provient de l'ordinateur de la tête d'abattage lui-même. Ainsi, selon la machine et la position de la clé de contact, il est possible d'arrêter le moteur, tout en laissant les accessoires électriques, dont l'ordinateur, sous tension et fonctionnels. Les commandes sont alors en mode activation, mais pas les vérins hydrauliques. Malgré son apparence très sécuritaire, cette situation est extrêmement dangereuse. Si le *joystick* est déplacé, la commande peut être gardée en mémoire par l'ordinateur jusqu'au redémarrage du moteur. Lorsque l'énergie hydraulique est à nouveau disponible, les commandes en mémoire sont activées et les vérins sont mis en mouvement. Ceci est extrêmement dangereux si des opérateurs sont au sol, près de la tête d'abattage, au moment du redémarrage. Étant donné que l'opérateur en cabine n'a pas d'indice de la mémorisation d'une commande de la part de l'ordinateur, il peut redémarrer le moteur sans se douter qu'une commande de mouvement intempestif de la tête a été gardée en mémoire, pensant que le redémarrage sera inoffensif pour l'autre travailleur au sol. Il est aussi possible, selon le fabricant¹⁵, que les couteaux et les rouleaux de la tête se referment au démarrage du moteur.

Deux options sécuritaires permettent d'éviter cette situation : une temporisation peut couper les commandes si aucune activation n'est effectuée pendant un certain temps (paramétrable) ou encore le système de sécurité de la tête peut être activé (ouverture de la porte, actionnement du levier coupe pilote, etc.). Une autre solution est d'arrêter l'ordinateur. Cependant, l'initialisation

¹⁴ Par exemple, le calibrage d'appoint de l'événement 41 de l'annexe 1 est réalisé par le mécanicien en cabine alors que l'opérateur principal est près de la tête d'abattage : le mécanicien devait prendre des lectures sur l'ordinateur et confirmer ces lectures avec celles prescrites dans le manuel du fabricant. L'expertise du mécanicien était donc requise à l'intérieur du véhicule. Or, il ne possédait pas la même dextérité aux commandes que l'opérateur principal.

¹⁵ « Lorsque vous démarrez le moteur, vérifiez que personne ne se trouve dans le rayon d'action de la grue ou de la tête d'abattage. Lorsque le moteur démarre, les couteaux et les rouleaux entraîneurs se ferment, et la scie revient dans sa position initiale. Au même moment, la tête d'abattage se place en position horizontale. », Ponssé, BuffaloDual, page 1-6 instructions de sécurité.

de l'ordinateur prend plusieurs dizaines de secondes et les opérateurs ne l'arrêtent pas pour des interventions rapides et fréquentes. Tant que l'initialisation de l'ordinateur sera longue, sa coupure ne sera pas systématique et le redémarrage du moteur restera donc une situation potentiellement dangereuse pour les personnes situées à proximité de la tête d'abattage.

Les risques de mouvements dangereux de la tête d'abattage sont aussi présents, même si la machine a été cadenassée auparavant. En effet, à la fin du cadenassage, une fois tous les cadenas retirés et le moteur remis en marche, si l'ordinateur de la tête est resté sous tension compte tenu de la configuration de son alimentation électrique et que l'ordinateur a mémorisé une action, cette action pourrait être exécutée. Il s'agit d'une situation dangereuse si le véhicule est sur un chemin forestier et que d'autres personnes se trouvent à proximité, même s'ils ne travaillent pas sur la tête d'abattage. La phase de redémarrage de la machine est donc une phase critique dès qu'un travailleur ou plus sont au sol, à proximité de la machine.

6. AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ À PROXIMITÉ DE LA TÊTE D'ABATTAGE

Les chapitres précédents présentent de nombreuses circonstances où l'arrêt du moteur, l'ouverture du sectionneur hydraulique ou électrique et le cadenassage sont des mesures de sécurité, qui interfèrent avec l'activité de travail de l'opérateur d'abatteuse ainsi qu'avec l'environnement hors cabine. De plus, dans l'activité de travail réelle qui a été observée sur le terrain (par opposition, en ergonomie, l'activité que devrait réaliser l'opérateur est qualifiée d'activité prescrite), on retrouve à certaines occasions une personne au sol proche de la tête et une autre en cabine, ce qui crée une situation dangereuse. Cette situation survient régulièrement : changement de quart, maintenance journalière proche de l'unité d'entretien, déplacement sur un chemin forestier, entraide en forêt, calibrage des pressions, etc.

6.1 Démarche générale de réduction du risque

La démarche de réduction du risque utilisée ici est calquée sur celle de la Figure 15 [22], elle-même inspirée de la norme ISO 12100:2010.

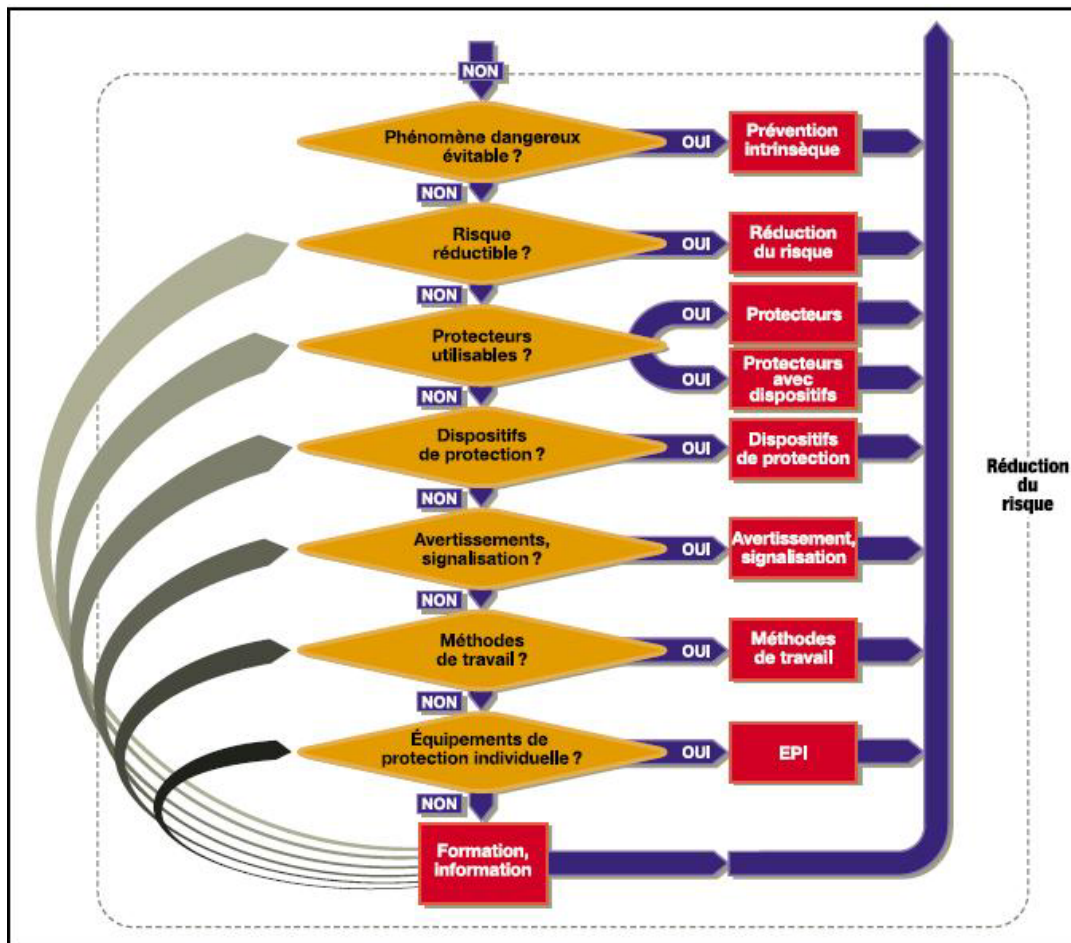


Figure 15 : Démarche de réduction du risque

6.1.1 Réduire les risques à la source

Telle qu'elles sont conçues actuellement, les têtes d'abattage multifonctionnelles contiennent de nombreux phénomènes dangereux d'origine mécanique (force, vitesse, pression, formes coupantes, etc.), qui peuvent créer des dommages importants au corps humain. Les énergies mises en jeu et, essentiellement l'énergie hydraulique, dépassent les capacités de réaction et de défense du corps humain. De plus, même si les constructeurs réduisent la puissance nécessaire au fonctionnement de la tête, la puissance résiduelle restera toujours dangereuse, car ces machines sont conçues pour couper, déplacer et débiter rapidement des arbres entiers, beaucoup plus résistants et plus lourds que le corps humain.

Il est cependant possible de réduire certains risques, comme le montre le Tableau 10.

Tableau 10 : Possibilités de réduction du risque

Risque	Moyens de réduction possibles
Chute de hauteur	<u>Limitier les déplacements sur les roues ou les chenilles :</u> • Installer des marchepieds ou échelles permettant un accès direct au sol • Localiser les points d'accès fréquents (dispositif de cadenassage, coffre à outils, etc.) près des marchepieds ou des échelles <u>Favoriser la montée et la descente de la cabine avec les mains libres :</u> • Utiliser la règle des trois points d'appui lors des montées et descentes • Rendre le coffre à outils facilement accessible, de préférence à partir du sol
Chute de plain-pied lors des déplacements	<u>Limitier les déplacements sur le parterre de coupe :</u> • Limiter le parcours de l'opérateur au sol en localisant le coffre à outils sur la trajectoire de l'opérateur entre la cabine et la tête • Rendre le coffre à outils facilement accessible, de préférence à partir du sol • Installer des plates-formes surélevées permettant des travaux mineurs sur la tête sans descendre sur le parterre de coupe. Attention, cette solution nécessite de bien penser la conception de la plate-forme de travail pour qu'elle ne représente pas un danger de chute¹⁶ (glissade, perte d'équilibre, chocs, etc.)

6.1.2 Utilisation de protecteurs

Les utilisateurs des abatteuses sont déjà protégés de nombreux phénomènes dangereux présents sur les têtes d'abattage par des protecteurs fixes. Ces protecteurs sont essentiellement les carter de la tête, qui protègent aussi les organes internes. Cependant, il reste de nombreuses zones dangereuses autour des têtes : plan de déplacement de la scie, volume de déplacement des pinces et des rouleaux, etc.

¹⁶ L'article 21.e du Règlement sur les travaux forestiers indique que « toute passerelle et toute plate-forme doivent :
i. être équipées de garde-corps; et ii. posséder un plancher antidérapant ».

6.1.3 Autres moyens de protection

Il reste, comme autre moyens de protection, l'utilisation de dispositifs qui donnent un ordre d'arrêt à la machine, l'utilisation d'avertissement et de signalisation, ainsi que l'utilisation de méthodes de travail adéquates. L'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) est une solution qui comporte de nombreuses limites dans le cas présent. Il existe des EPI qui permettent d'éviter des blessures (les gants), mais il n'existe pas d'EPI qui permettent de protéger les opérateurs contre les forces mises en jeu par les pinces ou les rouleaux.

De même, l'avertissement et la signalisation sont des mesures passives qui doivent être utilisées, mais qui ont une portée limitée. Les sections suivantes présentent donc les deux autres moyens possibles, soit les dispositifs de protection et les méthodes de travail, dans le cas d'interventions à plusieurs autour d'une tête d'abattage ou dans le cas de l'opération de réglage des pressions.

6.2 Amélioration de la sécurité lors d'une intervention autour de la tête d'abattage

Compte tenu qu'un ou plusieurs travailleurs peuvent se retrouver en situation dangereuse lors d'une intervention autour de la tête d'abattage (présence simultanée d'un travailleur en cabine et de un ou plusieurs travailleurs au sol), la solution qui offre le plus de sécurité est celle d'éviter l'apparition d'un événement dangereux qui engendrera un dommage. Les solutions proposées au Tableau 11 peuvent donc être utilisées comme point de départ pour améliorer la sécurité des personnes ayant à travailler à proximité des abatteuses forestières.

Pour cela, il est possible de se baser sur :

- L'article 191 du RSST intitulé « Appareil avertisseur » stipule que : « Lorsque la mise en marche d'une machine constitue un danger pour les personnes qui se trouvent à proximité, cette mise en marche doit être annoncée par un appareil avertisseur ou par tout autre moyen de communication efficace ».
- L'article 4.b du Règlement sur les travaux forestiers qui indique de « ne jamais laisser un travailleur forestier travailler seul en forêt, à moins qu'il n'existe un moyen de surveillance sûr, soit une ronde soit un autre système de contrôle périodique. Cette surveillance doit être exercée au moins une fois par demi-journée de travail ».
- Le manuel d'utilisation de la machine fourni par le fabricant.

Tableau 11 : Moyens de réduction du risque

Moyens	Objectifs
Dispositifs de protection	<u>Communications :</u> • Munir les abatteuses d'un dispositif d'appel de détresse automatique (par exemple après un arrêt prolongé du moteur¹⁷ ou une autre condition). <u>Démarrage et mouvements intempestifs :</u> • Munir les abatteuses d'un indicateur de redémarrage pour avertir les travailleurs au sol de l'imminence d'un redémarrage¹⁸. • Munir les abatteuses d'un dispositif de réarmement¹⁹ des commandes de la machine pour éviter les manœuvres involontaires durant les transitions (changements de quart, habillage, pauses café, mouvements en cabine, etc.) et lors du redémarrage. <u>Arrêt d'urgence :</u> • Munir les abatteuses d'une fonction d'arrêt d'urgence accessible autant de la de la cabine que du sol. <u>Valve hydraulique servant de dispositif d'isolement :</u> • Localiser la valve à actionnement manuel dans un endroit facilement accessible pour l'opérateur depuis le sol ou depuis un marchepied ou l'échelle de la cabine. • Munir les abatteuses d'une électrovanne de sécurité similaire à celles utilisées pour les presses à injection pour le moulage du plastique ou pour les presses à embrayage à friction. Cette électrovanne serait commandée par la fonction de sécurité de la tête d'abattage.
Commandes et fonctions	<u>Commandes de la tête d'abattage :</u> • Activer automatiquement la fonction de sécurité de la tête d'abattage après la non-activation des commandes pendant un délai présélectionné (par exemple après 15 secondes). • Annuler toute ancienne commande dans la mémoire de l'ordinateur lors de l'activation de la fonction de sécurité de la tête d'abattage. • Interdire les mouvements automatiques de la tête lors du réarmement. • Fiabiliser les fonctions de sécurité réalisées par des systèmes électrique et électronique en suivant notamment la norme IEC 61508.

¹⁷ Article 4.b du Règlement sur les travaux forestiers.

¹⁸ Article 191 du RSST.

¹⁹ Selon la norme ISO 13849 §5.4 et ISO 14118 §6.1, le réarmement est une action volontaire de l'opérateur pour éviter les mises en marche intempestives.

Moyens	Objectifs
Procédures de sécurité	<u>Stationnement de la machine :</u> • Stationner l'abatteuse dans un endroit dégagé, avec suffisamment d'espace autour de la tête d'abattage pour qu'un travailleur au sol puisse s'en éloigner facilement sans risque de chute. <u>Positionnement de la tête :</u> • Installer la tête de manière à tourner les zones dangereuses à l'opposé des travailleurs. Il pourrait y avoir plusieurs positions différentes de travail selon l'intervention (rouleaux ouverts ou fermés, couteaux ouverts ou fermés...). • Installer la tête afin de permettre au travailleur en cabine d'avoir une bonne vision de tous les autres travailleurs pouvant se trouver autour. • Installer la tête de manière à positionner la zone d'intervention du travailleur en dehors de la trajectoire de chute du mât et de la tête.

6.3 Amélioration de la sécurité lors du réglage des pressions

La phase de réglage des pressions est une intervention peu fréquente, mais plutôt risquée sur une abatteuse, comme cela a été mentionné précédemment. Nous allons détailler l'analyse du risque qui a été réalisée avant de proposer des solutions permettant d'améliorer la sécurité de cette intervention.

6.3.1 Analyse de risque lors du réglage des pressions

Deux des trois étapes de l'analyse de risque, soit la détermination des limites de l'étude (section 6.3.1.1) ainsi que le repérage des phénomènes dangereux (section 6.3.1.2), ont été réalisées. La dernière étape, soit l'estimation du risque, ne sera pas réalisée ici par manque de connaissance approfondie des conditions de cette maintenance (probabilités d'occurrence et fréquence pas toujours connues). Mais il sera possible, malgré tout, de proposer diverses pistes de solution pouvant mener à une procédure de réglage des pressions plus sécuritaire.

6.3.1.1 Détermination des limites de l'étude

Le tableau suivant (Tableau 12) donne les limites de l'étude, qui permettent de définir les conditions d'étude des phénomènes dangereux associés aux abatteuses lors du réglage des pressions.

Tableau 12 : Limites de l'étude

Éléments considérés	<u>Phénomènes dangereux</u> : Tous les phénomènes dangereux possibles lors du réglage des pressions, à l'exception des phénomènes dangereux d'origine électrique (car la tension utilisée est de 24V en courant continu), d'origine ergonomique et du bruit (durée d'exposition faible). <u>Personnes</u> : l'opérateur de l'abatteuse et le mécanicien
Éléments exclus de l'analyse	Tous les phénomènes dangereux liés à l'utilisation normale de l'abatteuse et les autres entretiens ou réparations
Zone considérée lors de l'analyse	L'abatteuse forestière et son pourtour immédiat
Condition et environnement d'utilisation	<u>Environnement physique</u> : • Parterre de coupe, chemin forestier ou atelier • Présence possible d'autres véhicules en mouvement autour de l'abatteuse • Présence possible de plusieurs personnes • Déplacement possible de l'abatteuse (le système de traction n'est pas désactivé) <u>Conditions météorologiques</u> : variées (autant à l'extérieur qu'à l'intérieur) <u>Fréquence et durée</u> : 1 à 2 fois par année, de 1h à 3h
Caractéristiques des personnes qui interagissent avec l'équipement	<u>Nombre</u> : Deux travailleurs, l'opérateur de l'abatteuse et un mécanicien faisant la maintenance <u>Position</u> : un travailleur est à proximité de la tête d'abattage et l'autre est dans la cabine
Matériel et accessoires utilisés	Appareil de mesure des pressions (manomètre), tuyaux de raccord, outils à main (clés, tournevis, etc.)
Caractéristiques de la machine considérées	<u>Puissance / énergie disponibles</u> : • Masse élevée de la tête, du mât ou de l'abatteuse au complet • Vitesse de déplacement de la tête et des organes mobiles (scie, pinces, etc.) Température du fluide hydraulique et de certaines parties de la tête Nombre d'articulations de la tête et du mât Forme et dureté des pièces mécaniques (toutes métalliques)
Mauvais usages raisonnablement prévisibles	Contournement de la fonction de sécurité de l'abatteuse forestière, si cette dernière pénalise la réalisation du réglage

6.3.1.2 Identification des phénomènes dangereux

Les différents phénomènes dangereux existants²⁰ sont indiqués au Tableau 13. Dans ce tableau, la dernière colonne nous indique les phénomènes dangereux repérés sur une abatteuse forestière et sur une tête d'abattage multifonctionnelle.

²⁰ Liste tirée de la pochette « Sécurité des machines » de Paques et al. [CSST, 2004]

Tableau 13 : Phénomènes dangereux repérés sur l'abatteuse et la tête

Phénomène	Détails	Applicable dans notre cas ?
Phénomènes mécaniques	Masse et vitesse, accélération, force, énergie potentielle, pièces en mouvement, angles rentrants, formes dangereuses, instabilité, ...	☒
Matériaux, produits, contaminants	Matières dangereuses, infectieuses, combustibles...	☒
Phénomènes thermiques	Températures extrêmes, flamme, explosion, rayonnement	☒
Non-respect des principes ergonomiques	Posture, éclairage, visibilité, accès, ...	☒
Bruit		☒
Vibrations		☐
Phénomènes électriques	Conducteurs sous tension, électrostatique,...	☐
Rayonnements	Laser, ...	☐

6.3.1.3 Analyse du risque

L'analyse a été réalisée pour un réglage des pressions à deux travailleurs, dans les conditions détaillées au Tableau 12, en tenant compte des phénomènes dangereux identifiés au Tableau 13. Cette analyse précise les phénomènes dangereux, les situations dangereuses, les événements dangereux et les dommages dans les cas suivants :

- Mouvements mécaniques (Tableau 14);
- Gravité terrestre (Tableau 15);
- Formes coupantes et piquantes (Tableau 16);
- Fluide sous pression (Tableau 17);
- Phénomènes thermiques (Tableau 18);
- Facteurs humains (Tableau 19).

Pour plus de précisions, les tableaux intègrent les différentes causes d'apparition des événements dangereux qui sont détaillées²¹ au Tableau 20. Enfin, l'arbre de défaillance associé au réglage des pressions à deux travailleurs est présenté à l'annexe II. Cet arbre permet au lecteur de comprendre, grâce à une illustration graphique, la logique des interactions entre les événements conduisant à l'événement indésirable, soit l'accident.

Dans notre cas, nous avons choisis de présenter en premier dans l'arbre de défaillances les différentes conséquences possibles liées aux phénomènes dangereux (coincements, coupures, etc.), pour ensuite détailler les différentes parties de la machine qui pouvaient engendrer les phénomènes dangereux (rouleaux d'alimentation, couteaux d'ébranchage, scie, etc.), pour finalement détailler les événements dangereux au dernier niveau.

²¹ Pour les tableaux 14 à 19, les abréviations suivantes sont utilisées : (ch) pour cause humaine; (ct) pour cause technique et (co) pour cause organisationnelle.

Tableau 14 : Analyse du risque lié aux mouvements mécaniques

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Pourquoi survient l'événement dangereux	Domage possible
Mouvement des rouleaux d'alimentation	Être situé à proximité des rouleaux d'alimentation pendant leur fermeture, lors des tests de pression	Entrer non intentionnellement dans la trajectoire des rouleaux d'alimentation pendant leur mouvement de fermeture	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct)	Coupures, fracture, écrasement ou coincement (jambes principalement), décès
	Être situé dans la trajectoire des rouleaux d'alimentation	Démarrage intempestif du mouvement de fermeture des rouleaux d'alimentation	Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct) Démarrage intempestif (co)	Coupures, fracture, écrasement, coincement, décès
	Être situé à proximité des rouleaux d'alimentation	Démarrage intempestif du mouvement de rotation des rouleaux d'alimentation	Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct) Démarrage intempestif (co)	Fracture, écrasement, coincement, éjection, décès
Mouvement des couteaux d'ébranchage mobiles	Être situé à proximité des couteaux d'ébranchage mobiles pendant le mouvement lors des tests de pression	Entrer dans la trajectoire des couteaux d'ébranchage mobiles pendant leur mouvement	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct)	Coupures, fracture, coincement, décès
	Être situé dans la trajectoire des couteaux d'ébranchage mobiles	Démarrage intempestif du mouvement des couteaux d'ébranchage mobiles	Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct) Démarrage intempestif (co)	Coupures, fracture, coincement, décès
Mouvement de la scie	Être situé à proximité de la lame de scie pendant sa sortie, lors des tests de pression	Entrer dans la trajectoire de la lame de scie pendant son mouvement de sortie (la scie n'est pas active)	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct)	Coupures, contusions

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Pourquoi survient l'événement dangereux	Domage possible
	Être situé dans la trajectoire de la lame de scie	Démarrage intempestif du mouvement de sortie de la lame de scie (la scie n'est pas active)	Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct)	Coupures, contusions
	Être situé à proximité de la scie	Démarrage intempestif du mouvement de rotation de la chaîne de la scie	Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct) Démarrage intempestif (co)	Coupures graves, décès
Mouvement de la tête d'abattage au complet	Être situé à proximité de la tête d'abattage lors du réglage des pressions (rouleaux, couteaux et scie immobiles)	Démarrage intempestif du mouvement de la tête d'abattage (rotation d'axe vertical ou horizontal – tilt)	Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct) Perte de pression hydraulique	Fractures, contusions, coincement, écrasement, éjection, décès
Mouvement du mât	Être situé à proximité du mât ou de la tête d'abattage lors du réglage des pressions (rouleaux, couteaux, scie et tête d'abattage immobiles)	Démarrage intempestif du mouvement du mât entraînant un déplacement intempestif de la tête d'abattage (accentué par l'extension du mât)	Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct) Démarrage intempestif (co)	Fractures, contusions, coincement, écrasement, éjection, décès
	Être situé dans la trajectoire de chute de la tête d'abattage et du mât	Chute accidentelle au sol de la tête d'abattage et du mât	Mouvement intempestif de la tête dû à une défaillance électrique ou hydraulique Démarrage intempestif (ch - cabine)	Contusions, fracture, écrasement, décès
Mouvement de l'abatteuse	Être situé à proximité de la tête lors du réglage des pressions (rouleaux, couteaux, scie, tête d'abattage et mât immobiles)	Avancement ou recul intempestif de l'abatteuse entraînant un mouvement de la tête d'abattage	Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct) Démarrage intempestif (co)	Fractures, contusions, éjection
	Être situé à proximité de l'abatteuse lors du réglage des pressions	Avancement ou recul intempestif de l'abatteuse et contact avec les roues ou chenilles	Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (ct)	Écrasement, décès

Tableau 15 : Analyse du risque lié à la gravité terrestre

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Pourquoi survient l'événement dangereux	Dommages possibles
Force gravitationnelle	Être situé debout sur le sol inégal dans la forêt ou sur le chemin forestier	Chute au sol	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct)	Contusions, fracture, entorse

Tableau 16 : Analyse du risque lié aux formes des pièces

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Pourquoi survient l'événement dangereux	Dommages possibles
Forme agressive des rouleaux d'alimentation	Être situé à proximité des rouleaux d'alimentation	Entrer en contact avec la partie agressive des rouleaux arrêtés	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct)	Éraflures, piqûres, lacérations, contusions
	Manipuler les rouleaux d'alimentation	Entrer en contact avec la partie agressive des rouleaux arrêtés	Perte d'équilibre (ch) Erreur de manipulation : mauvais point d'appui, manque d'expérience, trop vite, trop fort, glissement...	
Forme coupante des couteaux d'ébranchage mobiles (pinces)	Être situé à proximité des couteaux d'ébranchage	Entrer en contact avec la partie coupante des couteaux arrêtés	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct)	Coupures, lacérations, contusions
	Manipuler les couteaux d'ébranchage	Entrer en contact avec la partie coupante des couteaux arrêtés	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct) Erreur de manipulation : mauvais point d'appui, manque d'expérience, trop vite, trop fort, glissement...	
Forme coupante de la chaîne de la scie	Être situé à proximité de la chaîne de la scie	Entrer en contact avec la partie coupante de la chaîne arrêtée	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct)	Coupures, lacérations
	Manipuler la scie	Entrer en contact avec la partie coupante de la scie arrêtée	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct) Erreur de manipulation : mauvais point d'appui, manque d'expérience, trop vite, trop fort, glissement...	

Tableau 17 : Analyse du risque lié au fluide sous pression

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Pourquoi survient l'événement dangereux	Dommages possibles
Huile du système hydraulique sous pression	Être situé dans la trajectoire potentielle d'un tuyau flexible où circule de l'huile hydraulique à haute pression	Fouettement d'un tuyau flexible	Bris d'un tuyau flexible ou d'un raccord (surpression, rupture accidentelle, défaut, vieillissement...)	Démangeaisons, contusions, projection de liquide dans les yeux et sur le corps, infections graves
	Être situé dans la trajectoire de projection potentielle d'huile hydraulique à haute pression	Projection accidentelle d'huile hydraulique à haute pression	Fuite d'huile hydraulique localisée Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (co)	

Tableau 18 : Analyse du risque lié aux phénomènes thermiques

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Pourquoi survient l'événement dangereux	Dommages possibles
Haute température	Être situé à proximité de tuyaux flexibles ou de parties hydrauliques où circule de l'huile hydraulique à haute température	Entrer en contact avec des tuyaux à haute température	Perte d'équilibre (ch) Perte d'équilibre (ct) Erreur de manipulation : mauvais point d'appui, manque d'expérience, trop vite, trop fort, glissement...	Brûlure
	Être situé dans la trajectoire potentielle de l'écoulement d'huile hydraulique à haute température	Écoulement intempestif d'huile hydraulique à haute température	Bris d'un tuyau flexible ou d'un raccord (surpression, rupture accidentelle, défaut, vieillissement...), fuite Démarrage intempestif (ch - tête) Démarrage intempestif (ch - cabine) Démarrage intempestif (co)	

Tableau 19 : Analyse du risque lié aux facteurs humains

Phénomène dangereux	Situation dangereuse	Événement dangereux	Pourquoi survient l'événement dangereux	Dommages possibles
Contraintes biomécaniques	Adopter des postures contraignantes	Durée de l'intervention	Position de la tête d'abattage, localisation des points de réglage, efforts nécessaires, précision	Fatigue, TMS
	Demeurer debout et se déplacer peu	Durée de l'intervention	Position debout devant la tête d'abattage, efforts statiques...	Fatigue, TMS
Bruit	Être situé devant la machine durant son fonctionnement	Durée de l'intervention	Machine bruyante car moteur en marche pour cette maintenance, pas de protection des oreilles car besoin de communication avec d'autres personnes, ...	Fatigue, surdité

Tableau 20 : Détails des différentes causes d'apparition des événements dangereux

Cause 1 : perte d'équilibre (cause humaine) – (ch)	Travailleur perd l'équilibre seul, sans raison apparente Travailleur perd l'équilibre seul, à cause d'un malaise Travailleur perd l'équilibre car quelqu'un le dérange, le bouscule... Travailleur perd l'équilibre car il trébuche sur des débris, objets, outils, tuyaux, trous ou bosses au sol, sol glissant, neige, glace, boue...
Cause 2 : perte d'équilibre (cause technique) – (ct)	Travailleur perd l'équilibre car il est heurté par la machine (mouvement intempestif de la tête, du mât ou de l'abatteuse) Travailleur perd l'équilibre car il est heurté par une autre machine ou un véhicule (mouvement intempestif)
Cause 3 : démarrage intempestif (cause humaine – un travailleur touche la tête) – (ch – tête)	Déplacement manuel d'un tiroir d'une électrovanne lors du réglage de la pression Faux contact électrique dû à une mauvaise manipulation du travailleur Autre action du travailleur sur la tête : actionnement d'un capteur par erreur ou avec un outil, rotation de la roue de mesurage, etc.
Cause 4 : démarrage intempestif (cause humaine - travailleur en cabine) – (ch – cabine)	Erreur de commande due à un manque d'expérience sur la machine Erreur de commande du travailleur en cabine (erreur humaine, fatigue, ...) Erreur de commande du travailleur en cabine due à un malaise Mise en marche intempestive suite à un actionnement involontaire d'une commande lors d'une autre action : habillage, recherche d'outil, etc.
Cause 5 : démarrage intempestif (cause organisationnelle) – (co)	Erreur de commande du travailleur en cabine due à une mauvaise visibilité Erreur de commande due à une mauvaise communication (bruit du moteur, éloignement des deux travailleurs, cabine fermée, mauvaise communication, etc.)
Cause 6 : démarrage intempestif (cause technique) – (ct)	Mise en marche intempestive à cause d'une défaillance électrique Mise en marche intempestive à cause d'une défaillance hydraulique

6.3.2 Pistes de solution et analyse

Grâce à l'analyse de risque, complétée par l'analyse de l'arbre de défaillance (Annexe II), il est possible de proposer des pistes de solution pour améliorer la sécurité lors du réglage des pressions. Le Tableau 21 présente les solutions matérielles, alors que le Tableau 22 détaille des solutions organisationnelles permettant de réduire les risques lors de la maintenance ou du réglage des pressions d'une tête d'abattage multifonctionnelle. Ces solutions peuvent aussi être combinées afin d'offrir un meilleur niveau de sécurité.

L'impact sur la sécurité des travailleurs et la complexité de mise en œuvre ont été estimés pour chacune des solutions. L'impact peut être soit très positif (++), soit positif (+), et la complexité peut être soit faible (①, modification simple), soit moyenne (②, modification plus compliquée), soit élevée (③, nécessite de modifier la conception de la machine ou de ses commandes).

Tableau 21: Pistes de solution matérielles - réglage des pressions

	Pistes de solution	Impact	Complexité
1	Réalisation du réglage par une seule personne	++	③
2	Limitation physique des possibilités de mouvements intempestifs de la tête	++	③
3	Utilisation d'un mode de fonctionnement intitulé « maintenance » ou « réglage » qui limite via les commandes certains mouvements de la tête	++	③
4	Utilisation d'un dispositif de validation (poignée 3 positions) pour tout travailleur devant effectuer une intervention de réglage sur la tête d'abattage	++	③
5	Implantation d'un arrêt d'urgence sur la tête d'abattage	+	②

Tableau 22 : Pistes de solution organisationnelles - réglage des pressions

	Pistes de solution	Impact	Complexité
1	Utilisation d'un système de communication à distance fiable si l'intervention nécessite plus d'un travailleur	++	①
2	Suppression des mouvements non nécessaires au réglage des pressions, comme le basculement de la tête (tilt), la rotation de la chaîne de scie, la rotation des rouleaux	++	①
3	Vérifier la désactivation des capteurs de la tête	++	①
4	Avoir des travailleurs (opérateur, mécanicien) formés et expérimentés	++	②
5	Minimiser le nombre de personnes autour de la machine	+	①
6	Ne pas laisser d'outils, d'objets ou de débris au sol	+	①
7	Positionner la tête au-dessus d'un sol dur et plat avec peu d'obstacles	+	①
8	Minimisation de la fatigue des travailleurs (conducteur, mécanicien)	+	②
9	Effectuer une maintenance préventive des systèmes électriques et hydrauliques de la tête d'abattage	+	②

Compte tenu que le cas le plus critique est lorsqu'une personne est en cabine et une autre proche de la tête d'abattage multifonctionnelle, la solution technique qui réduit le plus la probabilité de cette situation dangereuse est le développement d'une procédure de réglage des pressions qui ne nécessite qu'une seule personne. En effet, les risques associés aux départs intempestifs dus à la personne en cabine sont alors supprimés : erreur de commande, mauvaise communication, ou autre action inattendue en cabine. Cette solution peut être rendue possible en utilisant une console de commande portative qui permet au travailleur de commander les mouvements de la tête en n'étant pas en cabine. Cependant, des risques résiduels, tels que les défaillances électriques ou hydrauliques, l'actionnement intempestif de capteurs de la tête non désactivés, etc. sont toujours possibles. Un seul modèle de tête permet déjà le réglage à une seule personne en cabine et il serait pertinent que les autres modèles de têtes d'abattage soient adaptés à cette façon de faire.

Les deux autres solutions techniques que sont la limitation physique des déplacements et l'utilisation d'un mode de commande spécifique pour les interventions de maintenance²² doivent aussi être développées par les constructeurs des têtes multifonctionnelles. Elles pourraient cependant être applicables tant à un réglage à une personne qu'à un réglage à deux personnes, et pourront donc être utilisées comme mesures complémentaires de réduction du risque, si le réglage à une seule personne n'est pas réalisable techniquement.

Finalement, l'utilisation de dispositifs de protection, tels qu'un arrêt d'urgence ou un dispositif de validation (fréquemment utilisé en robotique) ne joue que sur les possibilités d'évitement du dommage. Un dispositif de validation [23] est un dispositif de commande supplémentaire²³ qui doit être actionné de façon permanente pour permettre à la machine de fonctionner, généralement à vitesse réduite. Ces dispositifs permettent au travailleur proche de la tête d'abattage de minimiser les conséquences d'un événement dangereux en augmentant la probabilité d'évitement du dommage, mais sans réduire la probabilité d'apparition de l'événement dangereux.

Pour tous les cas où le réglage à une personne est impossible, compte tenu de la technologie de la tête, il est recommandé d'avoir du personnel bien formé, qui est habitué aux commandes de la machine (afin de minimiser le risque d'erreur) et d'utiliser un système de communication fiable entre les deux travailleurs (celui en cabine et celui proche de la tête) pour éliminer les erreurs de communication.

Les mesures organisationnelles doivent être envisagées après les mesures techniques, car les mesures techniques sont généralement plus permanentes que les mesures organisationnelles. Si les mesures techniques ne sont pas réalisables ou si elles ne permettent pas de réduire le risque à un niveau acceptable, alors les mesures organisationnelles peuvent être utilisées.

²² Ce mode de commande permet par exemple l'actionnement d'une seule fonction à la fois avec une puissance ou une vitesse réduite afin de réduire le risque associé à la tâche effectuée.

²³ Ces dispositifs sont souvent utilisés en robotique pour permettre à un opérateur de se tenir proche du robot lors d'un fonctionnement à basse vitesse (validation de trajectoire, mise en route, diagnostic, etc.). Ils peuvent prendre la forme d'une poignée, d'une pédale ou être intégrés dans une console portative de commande. L'arrêt de la machine est obtenu en relâchant ou en actionnant la poignée. Seule la position médiane de la poignée autorise le fonctionnement de la machine.

Le Tableau 23 classe par ordre décroissant l'impact des pistes de solutions organisationnelles sur les différentes causes d'apparition des événements dangereux. Ces mesures organisationnelles peuvent toutes se combiner, car elles ne sont pas exclusives.

Tableau 23: Impact des solutions organisationnelles sur les causes d'événement

Solutions	Perte d'équilibre		Démarrage intempestif			
	Cause 1 : humaine	Cause 2 : technique	Cause 3 : travailleur tête	Cause 4 : travailleur cabine	Cause 5 : organisa.	Cause 6 : technique
4 Formation et expérience	☒		☒	☒	☒	
8 Minimisation fatigue	☒		☒	☒	☒	
1 Système de communication			☒	☒	☒	
5 Peu de personnes	☒		☒		☒	
6 Sol dégagé	☒		☒			
7 Sol dur et plat	☒		☒			
2 Suppression mouvements		☒				
3 Capteurs désactivés			☒			
9 Maintenance préventive						☒

7. CONCLUSION

Tel qu'indiqué par les données disponibles, l'abattage des arbres au Québec est de plus en plus réalisé par des engins mécanisés comme les abatteuses. Ces machines permettent de réduire l'abattage manuel et les risques associés à ce travail. Par contre, l'entretien de ces machines, qui est d'année en année de plus en plus complexe, peut poser des problèmes au niveau de la sécurité des travailleurs. Des exemples d'accident récents lors d'entretien de ces machines soulèvent la question de la sécurité du personnel lors de ces interventions.

C'est dans ce cadre que la présente étude a été initiée par l'IR SST avec le support du Comité paritaire de prévention du secteur forestier de la CSST. Ce projet de recherche visait à identifier les risques et à explorer les possibilités d'amélioration de la sécurité de ces machines. Deux volets étaient identifiés dans cette étude. Le premier, le volet ergonomique, visait à documenter l'activité des opérateurs pour mieux comprendre les phénomènes dangereux et les situations dangereuses à l'origine d'événements dangereux, qui avaient pour conséquence des dommages aux travailleurs. Le second volet consistait à réaliser une analyse de risque pour les opérations de réglage des pressions, compte tenu de sa durée et de la gravité potentielle des dommages aux travailleurs exposés. L'objectif final de l'étude était de réduire les risques de cette opération de maintenance en développant une nouvelle procédure de réglage plus sécuritaire.

Plusieurs moyens ont été utilisés pour répondre aux questions posées dans le premier volet. La majorité des efforts a été concentrée sur des observations (analyse ergonomique, observations libres, entretiens avec des travailleurs, etc.) des activités de maintenance de tête d'abattage multifonctionnelles sur le terrain, car ces tâches étaient très peu documentées dans la littérature. Les différences entre les saisons et entre les zones géographiques du Québec ont été prises en compte, afin de refléter au mieux l'ensemble des activités forestières du Québec. L'utilisation de la vidéo a permis de réaliser des analyses détaillées des interventions sur les têtes d'abattage.

Les interventions les plus fréquentes sur la tête d'abattage sont, dans un ordre décroissant selon la fréquence : le changement du guide-chaîne ou la chaîne de la scie (57%), la mesure des longueurs (16%), l'inspection/nettoyage/graisage (11%), les réparations hydrauliques (7%), le calibrage des pressions (7%) et les changements de quart (2%). Hormis le réglage des pressions et les réparations hydrauliques, les opérations durent de trois à dix minutes, ce qui peut être considéré comme court. Chaque sortie de la cabine pour une intervention sur la tête nécessite une séquence d'opérations qui débute par le diagnostic pour se finir par le retour en cabine. Cependant, certaines de ces opérations peuvent varier et générer des situations dangereuses. Par exemple, il est possible d'accrocher une commande lors de l'habillage en cabine, de glisser lors de la descente du véhicule, de trébucher sur le parterre de coupe lors du déplacement vers la tête d'abattage, d'intervenir avec une posture non-ergonomique sur la tête d'abattage, etc.

Travailler à plusieurs autour de la tête d'abattage est une situation dangereuse qui a été clairement identifiée lors de la présente recherche, que les interventions soient de courte durée (changement de quart, entraide, etc.) ou plus longues (maintenance périodique, réglage des pressions). L'analyse de sept séquences vidéo indique que, dans cinq cas, un des travailleurs pouvait être atteint par la tête d'abattage. Ces résultats sont confirmés par les accidents analysés lors de cette étude.

Toutes ces situations dangereuses sont dues à la présence, simultanée ou non, de plusieurs déterminants qui peuvent avoir des effets négatifs sur la santé ou la sécurité des travailleurs. Ces déterminants sont : les déplacements sur le parterre de coupe et sur la machine, la localisation des points de cadénassage, la perte de la clé du cadenas, les conditions climatiques (associées au fonctionnement du moteur), la présence d'animaux sauvages ainsi que les erreurs possibles de commande.

Un certain nombre de solutions permet néanmoins de réduire à la source les risques associés à la gravité terrestre (chutes de hauteur ou chutes de plain-pied lors des déplacements). Pour ce qui est des interventions autour de la tête d'abattage, les moyens de réduction du risque possibles sont l'utilisation de dispositifs de protection, l'utilisation de commandes sécuritaires et l'application de procédures de sécurité.

Pour ce qui est du second volet de l'étude portant sur le réglage des pressions, l'analyse du risque effectuée lors de cette recherche nous a permis d'identifier les six causes, trois humaines, deux techniques et une organisationnelle, qui sont responsables de l'apparition des différents événements dangereux. Par la suite, certaines pistes de solutions permettant de réduire le risque ont été proposées. Les solutions peuvent être matérielles ou organisationnelles. Chacune d'entre elles est quantifiée, tant au niveau de son impact qu'au niveau de sa complexité de mise en œuvre. Il ressort que les pistes de solutions organisationnelles sont plus faciles à mettre en œuvre, mais leur impact est généralement moindre que celui des solutions techniques. Il est donc suggéré de mettre en œuvre les solutions techniques avant les solutions organisationnelles. L'équipe de recherche aurait apprécié pouvoir modifier une machine afin de tester les pistes de solutions proposées, mais cela n'a pu être réalisé dans le cadre de cette étude.

L'équipe de recherche espère que cette recherche permettra d'améliorer la sécurité des travailleurs forestiers, qui utilisent une abatteuse avec une tête multifonctionnelle.

8. RÉFÉRENCES

1. Giraud, L.; Massé, S.; Vigneault, S., *L'entretien des têtes d'abattage - Identification des risques et exploration des possibilités d'amélioration*, Rapport R-408, Montréal, IRSST, 2005, 45 pages.
2. Giraud, L.; Chinniah, Y.; Burlet-Vienney, D.; Paques, J.-J.; Koutchouk, M.; Daigle, R., *Abatteuses forestières - Dispositif et circuits de commande relatifs à la sécurité*, Rapport R-593, Montréal, IRSST, 2008, 82 pages.
3. 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.
4. 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.
5. Cloutier, E.; Laflamme, L., *Organisation du travail et sécurité des opérations forestières*, Rapport R-005, Montréal, IRSST, 1985, 490 p.
6. Cloutier, E.; Pelletier, C., *La sécurité en forêt - Machinerie et conditions de travail*, Rapport R-040, Montréal, IRSST, 1993, 144 p.
7. Massé, S.; Cesta, V.; Bélanger, R., *La sécurité en forêt - Amélioration technique des machines de récolte forestière*, Rapport R-051, Montréal, IRSST, 1993, 204 p.
8. 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, Montréal, IRSST, 1997, 112 p.
9. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, *Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu à un travailleur, à l'emploi de la Coop forestière des Hautes Laurentides, le 15 novembre 2000 à Mont-Laurier*, Québec, CSST, 2001.
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. Ericson, C. A., *Hazard Analysis Techniques for System Safety*, ed. Wilwy & Sons, Hoboken, 2005, 499 p.
12. Massé, S.; Giraud, L.; Dubé, J.; Vernoux, G.; Schreiber, L.; Desrochers, Y., *Sécurité des convoyeurs à courroie, Principes de conception pour améliorer la sécurité – Guide du concepteur*, CSST-IRSST, 2004, 125 p.
13. Institut national de recherche et de sécurité, dossier web, *Dossier Accidents d'origine électrique*, Mise à jour : 20/08/2008, visité le 01/05/2009.
14. Marsot, J.; Klein, R.; Pagliero, D.; Dei-Svaldi, D., *Sécurité des machines et des équipements de travail – Circuits de commande et de puissance. Principes d'intégration des exigences de sécurité*, INRS, ED913, 2003, 35 p.

15. Organisation internationale de normalisation, *Matériel forestier- Machines automotrices- Sécurité*, ISO 11850, Suisse, 2003.
16. American National Standards Institute, *American national standard for mobile ladder stands and mobile ladder stand platforms*, ANSI A14.7, 2000.
17. Grusenmeyer, C., *La relève de poste, une phase critique du travail en équipes successives*, INRS, Cahiers de notes documentaires, n° 144, p. 407-418
18. CSA B352.0-95, 2006 , *Rollover Protective Structures (ROPS) for Agricultural, Construction, Earthmoving, Forestry, Industrial and Mining Machines - Part 1: General Requirements*, CSA, 21 p.
19. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, *Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu à un travailleur des Forestiers Picard 1990 inc., le 31 juillet 2001, lors de la construction d'un chemin de pénétration forestier dans la ZEC Chapeau-de-Paille*, CSST, 2001.
20. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, *Rapport d'enquête d'accident : accident mortel survenu à un travailleur forestier de Norbord Nexfor, près de Waspiniipi le 17 avril 2003*, CSST, 2003.
21. Daniellou, F., Simard, M., Boissières, I., *Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle, un état de l'art*, Les cahiers de la sécurité industrielle, Ed. Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle, Toulouse, France, 2009, 123 p.
22. Pâques, J.-J.; Bourbonnière, R.; Daigle, R.; Duchesne, D.; Trudel, C.; Villeneuve, J.; Huynh, T. T.; Eliskof, S.; Schreiber, L., *Sécurité des machines, aide-mémoire : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages*, CSST, 2004.
23. Lupin, H; Marsot, J., *Sécurité des machines et des équipements de travail – Moyens de protection contre les risques mécaniques*, INRS, ED807, 2006, 103 p.

9. ANNEXES

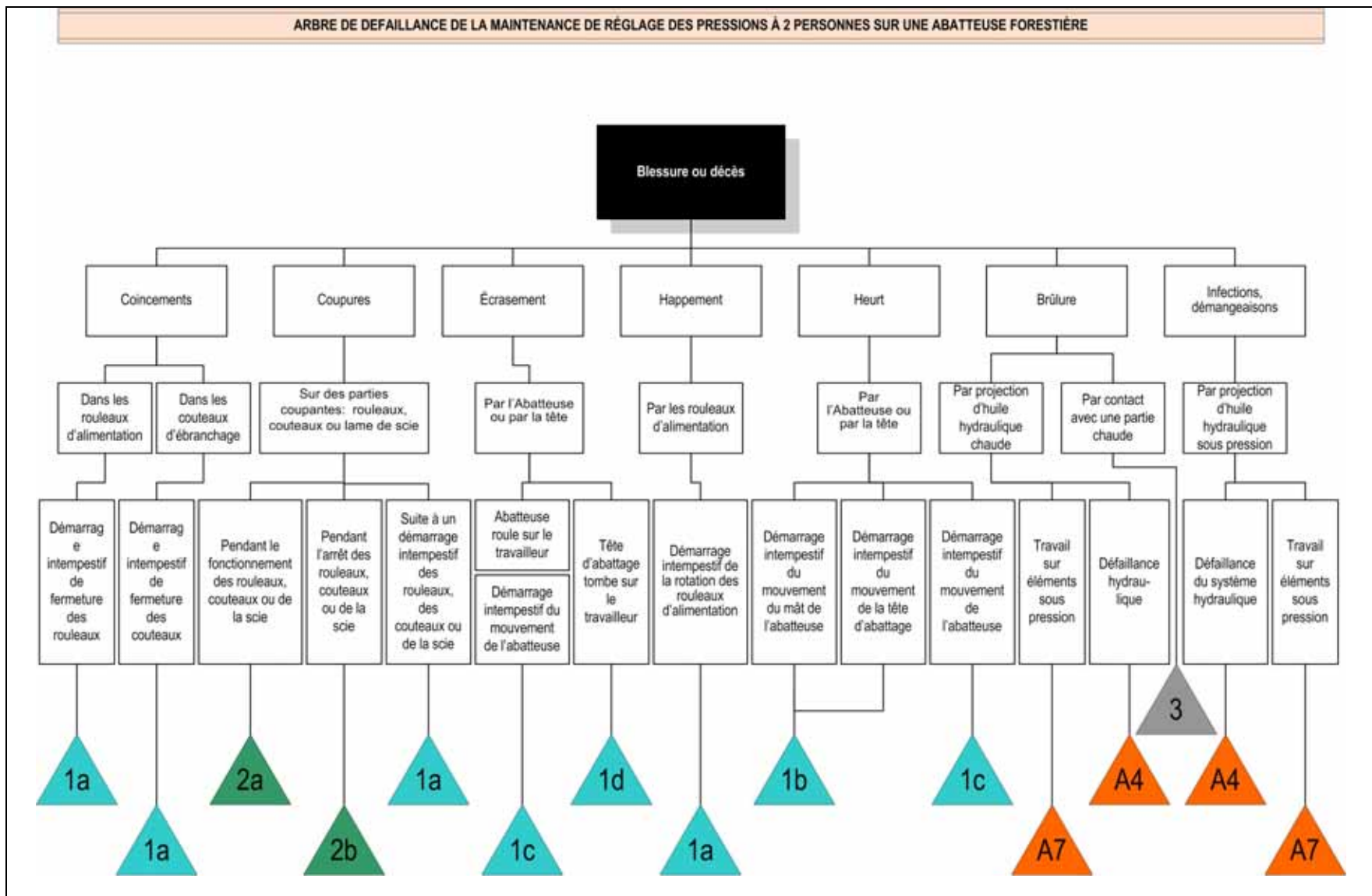
9.1 Annexe I – Séquences d'abattage filmées

Pour cette étude, 53 h 33 min d'activité d'abattage ont été filmées, réparties sur sept quarts de travail. Cette annexe décrit brièvement les quarante-quatre séquences extraites de ces films et choisies au moment où l'opérateur sort de sa cabine pour intervenir sur la tête d'abattage ainsi qu'au moment où deux travailleurs interviennent simultanément.

	Intervention	Durée totale (secondes)	Nombre de travailleurs	Lieux
1	Débarquement de chaîne	109	1	Parterre de coupe
2	Débarquement de chaîne	88	1	Parterre de coupe
3	Débarquement de chaîne	92	1	Parterre de coupe
4	Débarquement de chaîne	84	1	Parterre de coupe
5	Débarquement de chaîne	113	1	Parterre de coupe
6	Débarquement de chaîne	142	1	Parterre de coupe
7	Débarquement de chaîne	116	1	Parterre de coupe
8	Débarquement de chaîne	101	1	Parterre de coupe
9	Débarquement de chaîne	336	1	Parterre de coupe
10	Débarquement de chaîne	140	1	Parterre de coupe
11	Débarquement de chaîne	306	1	Parterre de coupe
12	Débarquement de chaîne	192	1	Parterre de coupe
13	Débarquement de chaîne	229	1	Parterre de coupe
14	Débarquement de chaîne	140	1	Parterre de coupe
15	Débarquement de chaîne	270	1	Parterre de coupe
16	Changement de chaîne	171	1	Parterre de coupe
17	Changement de chaîne	194	1	Parterre de coupe
18	Changement de chaîne	64	1	Parterre de coupe
19	Changement de chaîne	215	1	Parterre de coupe
20	Changement de chaîne	306	2	Parterre de coupe
21	Redressement de chaîne	354	1	Parterre de coupe
22	Redressement du guide-chaîne	496	1	Parterre de coupe
23	Réajustement guide-chaîne/chaîne	550	1	Parterre de coupe
24	Changement du guide-chaîne	655	1	Parterre de coupe
25	Changement du guide-chaîne	236	1	Parterre de coupe
26	Réparation hydraulique	2214	1	Parterre de coupe
27	Remplissage réservoir huile à chaîne	921	1	Parterre de coupe
28	Retrait de bois coincé	75	1	Parterre de coupe
29	Mesure de longueur	96	1	Parterre de coupe
30	Mesure de longueur	179	1	Parterre de coupe
31	Mesure de longueur	173	1	Parterre de coupe
32	Mesure de longueur	144	1	Parterre de coupe
33	Mesure de longueur	177	1	Parterre de coupe
34	Mesure de longueur	70	1	Parterre de coupe
35	Mesure de longueur	62	1	Parterre de coupe
36	Changement d'un flexible	488	1	Parterre de coupe
37	Changement d'un flexible	769	1	Parterre de coupe

	Intervention	Durée totale (secondes)	Nombre de travailleurs	Lieux
38	Nettoyage et lubrification	3466	2	Chemin forestier, près du parterre de coupe
39	Nettoyage et lubrification	1306	2	Chemin forestier, près de l'unité d'entretien
40	Inspection de départ	715	1	Chemin forestier, près du parterre de coupe
41	Calibrage d'appoint de la tête	*	2	Chemin forestier, près de l'unité d'entretien
42	Calibrage annuel de la tête	*	2	Chemin forestier, près du parterre de coupe
43	Calibrage annuel de la tête	*	1	
44	Changement de quart	*	2	Parterre de coupe

9.2 Annexe II - Arbre de défaillance de la procédure de réglage des pressions



Légende

Blessure ou décès

Événement sommet : événement final indésirable (accident). Un arbre n'a qu'un événement sommet. L'arbre réunit uniquement tout ce qui peut provoquer cet événement sommet.



Cause élémentaire : cette cause ne requiert aucun développement supplémentaire (ex. : absence de berceau amortisseur).



Cause non détaillée : cette cause n'est pas développée par choix ou par manque d'information.



Cause normale : c'est une cause qui se produit normalement pendant l'utilisation du convoyeur (ex. : usure de la courroie).



Cause intermédiaire : elle peut être expliquée par plusieurs causes qui sont décrites en détail plus bas dans l'arbre.



Condition : il s'agit d'une condition nécessaire pour progresser dans l'arbre des fautes (ex. : convoyeur en marche).



Porte OU : l'événement de sortie se produit si au moins un des événements d'entrée est présent.



Porte ET : l'événement de sortie se produit si tous les événements d'entrée sont présents.



Et (conditionnel) : c'est une porte ET particulière pour laquelle une seule entrée est nécessaire. La porte est rattachée à une condition.



Renvoi externe : indique qu'une partie de l'arbre est développée dans une autre partie de l'arbre des fautes (chaque renvoi est numéroté).



Renvoi interne : indique que cette partie de l'arbre est le développement du renvoi externe correspondant (qui a le même numéro).

