

2008

Étude ergonomique d'un nouveau traitement sylvicole

Daniel Imbeau
Polytechnique Montréal

Denise Dubeau
Direction de la Recherche Forestière, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

Bruno Farbos
Polytechnique Montréal

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

Citation recommandée

Imbeau, D., Dubeau, D. et Farbos, B. (2007). *Étude ergonomique d'un nouveau traitement sylvicole* (Rapport n° R-540).

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.

É

Études et recherches

■ RAPPORT R-540



Étude ergonomique d'un nouveau traitement sylvicole

*Daniel Imbeau
Denise Dubeau
Bruno Farbos*



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

NOS RECHERCHES

Mission *travaillent pour vous !*

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

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

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

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

Pour en savoir plus

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

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

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2007
ISBN : 978-2-89631-213-9 (version imprimée)
ISBN : 978-2-89631-214-6 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
décembre 2007



Études et recherches

■ RAPPORT R-540

Étude ergonomique d'un nouveau traitement sylvicole

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.



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

Daniel Imbeau¹, Denise Dubeau² et Bruno Farbos¹

*¹Chaire de Recherche du Canada en ergonomie,
École Polytechnique de Montréal*

*²Direction de la Recherche Forestière,
Ministère des Ressources naturelles
et de la Faune du Québec*

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSSST

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

Sommaire

Cette étude a comparé deux traitements sylvicoles, soit le débroussaillage conventionnel et le débroussaillage combiné au badigeonnage, avec le produit Myco-Tech^{MC}, des tiges coupées. En tout 10 débroussailliers ayant entre 1 et 4 saisons d'expérience et formés à l'application du produit Myco-Tech^{MC} ont participé à cette étude. Un Step-Test a été administré à chaque sujet afin de permettre l'estimation de sa capacité cardiorespiratoire ainsi que du métabolisme de travail à partir de la fréquence cardiaque durant le travail. La fréquence cardiaque a été mesurée en continu durant le travail. Les extrapulsations cardiaques thermiques (EPCT) ont été estimées lors de pauses prises par chaque sujet au cours de la journée de travail. Toutes les activités de travail ont été notées. La productivité a été évaluée ainsi que la qualité du débroussaillage effectué. Les paramètres de l'ambiance thermique ont été notés aux heures. Chaque travailleur a été filmé et les séquences vidéo ont fait l'objet d'une analyse de postures et d'activités. Enfin, les commentaires des travailleurs concernant les difficultés vécues avec l'équipement d'application du produit Myco-Tech^{MC} ont été recueillis.

Les résultats montrent que du point de vue de la charge de travail physique, les deux traitements sont semblables; ils entraînent la même charge de travail. Par contre, le débroussaillage avec application du produit Myco-Tech^{MC} est deux fois moins productif en termes d'heures par hectare dégagé. Le transport de l'équipement additionnel nécessaire au badigeonnage entraîne un effort significativement plus important lors de la marche. Les deux traitements sylvicoles ont entraîné des augmentations de la fréquence cardiaque —EPCT de plus de 20 bpm— jugées non sécuritaires pour une large majorité des travailleurs dans certaines conditions. Il apparaît qu'un monitoring de la fréquence cardiaque soit l'approche la plus sûre pour permettre aux débroussailliers de régler leur régime d'alternance travail-repos selon les conditions climatiques et d'isolement vestimentaire afin de travailler en toute sécurité.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les dix travailleurs et les deux entrepreneurs sylvicoles, Maryus Nadeau, et le Service d'aménagement et d'amélioration de la forêt (SAAF), pour leur participation sans laquelle cette étude aurait été impossible.

La collaboration de la Compagnie Myco Forestis, promoteur des équipements et du produit Myco-Tech, pour l'assistance à la mise en place des études doit être soulignée tout comme celle des compagnies Crête et Fils en Mauricie et Bowater à St-Prime.

Ils tiennent aussi à souligner la contribution des personnes suivantes de la Direction de la recherche forestière du MRNF: Vincent Roy pour l'élaboration du volet sylvicole du dispositif de recherche, Steve Lemay, Simon Desalliers, Govinda St-Pierre et Christian Villeneuve pour l'installation du dispositif et la cueillette des données, ainsi que Isabelle Auger et Louis Blais pour leur assistance dans la confection du design expérimental et l'analyse des données.

La contribution de Philippe-Antoine Dubé, de Alexandre Morel et de Romain Jallon de la Chaire de recherche du Canada en ergonomie de l'École Polytechnique pour la préparation et le traitement des données de terrain a été d'une très grande aide. Également, les suggestions de Marie-Ève Chiasson tout au long de cette étude ont été utiles.

Cette étude a été rendue possible par un financement conjoint de l'IRSST, le CRSNG et du MRNF (Direction de la recherche forestière, ainsi que le programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier - PMVRVF - Volet I).

Table des matières

1. Introduction.....	1
1.1. Origine et contexte de l'étude.....	1
1.2. Pertinence d'une étude ergonomique.....	3
1.3. Objectifs du projet de recherche.....	5
2. Méthodologie.....	5
2.1. Terrain.....	5
2.2. Sujets expérimentaux.....	6
2.3. Dispositif expérimental.....	6
2.4. Mesures.....	6
2.4.1. Fréquence cardiaque.....	7
2.4.2. Step-Test.....	8
2.5. Étude de temps.....	8
2.6. Ambiances thermiques.....	9
2.7. Enregistrements vidéo.....	9
2.8. Qualité du traitement.....	11
2.9. Procédure de collecte des données.....	11
3. Résultats.....	11
3.1. Facteurs de site.....	12
3.2. Sujets.....	12
3.3. Poids de l'équipement de débroussaillage.....	13
3.4. Ambiance thermique.....	14
3.5. Astreinte liée au travail.....	15
3.5.1. Extrapulsations cardiaques thermiques (EPCT).....	16
3.5.2. Métabolisme de travail et indice WBGT.....	17
3.6. Productivité.....	18
3.7. Qualité du traitement.....	19
3.8. Enregistrements vidéo.....	19
3.9. Évaluations par les opérateurs.....	21
4. Discussion.....	21
4.1. Portée et limites de cette étude.....	25
5. Conclusions.....	26
6. Bibliographie.....	26

Liste des tableaux

Tableau 1: Description des activités observées durant le travail de débroussaillage selon le type de traitement sylvicole	10
Tableau 2: Statistiques descriptives des traitements	12
Tableau 3: Caractéristiques des sujets de l'étude	13
Tableau 4: Paramètres de l'ambiance thermique.....	14
Tableau 5: Coût cardiaque relatif (moyenne \pm écart-type) selon l'activité et selon le type de traitement	15
Tableau 6: Résultats sur les extrapulsations cardiaques thermiques	16
Tableau 7: Mesures de productivité (moyennes et plages indiquées).....	19
Tableau 8: Durées (s) et fréquences moyennes des actions et postures selon le traitement sylvicole.....	20
Tableau 9: Synthèse des perceptions et commentaires des débroussailleurs quant au produit Myco-tech et à son équipement	22

Liste des figures

Figure 1: Dispositif Myco-Tech ^{MC} vu de côté et de l'arrière.....	4
Figure 2: Temps effectif des sujets et densité par unité expérimentale	18

1. Introduction

1.1. Origine et contexte de l'étude

La maîtrise de la végétation de compétition est une pratique sylvicole essentielle pour assurer un environnement favorable à la survie et à la croissance des plantations résineuses, destinées à remplacer les forêts récoltées. En effet, l'utilisation des ressources environnementales (lumière, eau, nutriments) par la végétation de compétition au cours de la phase d'établissement de la plantation réduit la croissance de l'espèce cultivée.

Trois grands types de végétation de compétition sont identifiés au Québec: 1) les graminées, 2) les broussailles (framboisier) et 3) les feuillus de lumière (Jobidon et Charette 1997). Les herbicides chimiques, tels le glyphosate et le triclopyr, ont démontré leur efficacité à maîtriser cette compétition (Pitt et al. 1993). Toutefois, devant les préoccupations croissantes du public à l'égard des impacts environnementaux potentiels de ces produits, il est devenu nécessaire de développer des méthodes alternatives de contrôle de la végétation en Amérique du Nord (Wagner 1993).

Depuis bientôt 6 ans, le gouvernement du Québec a décrété l'arrêt de l'épandage d'herbicides chimiques, faisant face aux craintes environnementales à propos de ce type de désherbant. Le débroussaillage mécanique constitue maintenant la méthode d'entretien de la végétation la plus courante au Québec (Parent 2000). Pourtant, en présence d'une compétition de feuillus de lumière, l'efficacité du débroussaillage mécanique est souvent de courte durée. En effet, malgré la réalisation des entretiens au bon moment dans l'été (Jobidon et Charrette 1997) et avec la bonne hauteur de coupe (Jobidon et Charrette 1997), la forte reproduction végétative, soit par rejets de souche et/ou par drageonnement de plusieurs espèces de compétition entraîne une reformation rapide de la couverture végétale, limitant la portée du débroussaillage mécanique sur ce type de feuillus.

Face à ces limites, certaines méthodes alternatives peuvent améliorer la durabilité de ce traitement. Ces alternatives visent à éviter un second débroussaillage et du même coup à réduire les coûts importants associés aux entretiens de plantation. La pâte Myco-Tech^{MC}, fabriquée par la société Myco-Forestis, se présente comme une de ces méthodes.

La pâte Myco-Tech^{MC}, dont l'agent microbien actif est la souche HQ1 du champignon *Chondrostereum purpureum*, est un agent biologique de contrôle de la végétation. L'application du champignon sur une découpe fraîche d'une tige feuillue a le potentiel d'initier graduellement un processus naturel de dévitalisation des tiges. Ce champignon basidiomycète lignicole est présent naturellement dans les forêts nord-américaines (Dumas et al. 1997) et plusieurs études ont démontré que l'utilisation du champignon ne représentait pas une menace pour les hôtes non ciblés (Wall 1991, 1997; De Jong et al. 1996; Gosselin et al. 1999). C'est ainsi que l'Agence de Réglementation de la Lutte Antiparasitaire (ARLA 2002) de Santé Canada proposait le 4 janvier 2002 l'homologation du produit Myco-Tech^{MC} pour « *inhiber la formation de rejets de souche sur des espèces de bouleau, le cerisier de Pennsylvanie, le peuplier, l'érable rouge et*

l'érable à sucre » (ARLA 2002).

Les premiers travaux publiés sur la pâte Myco-Tech^{MC} ont révélé l'efficacité biologique du produit sur les espèces compétitrices, même si certaines variabilités ont été observées selon les espèces et les sites d'étude. Des travaux de recherche sont donc encore nécessaires avant une utilisation à grande échelle de ce produit dans le contexte des plantations résineuses. En effet, des études ont été menées afin de vérifier l'efficacité biologique du produit uniquement sur les espèces compétitrices, sans quantifier l'impact du traitement sur le rendement de la plantation. Sachant que la virulence du champignon varie beaucoup selon la souche et la formulation utilisées (Jobidon 1998; Pitt et al. 1999), et puisque l'homologation garantit uniquement l'efficacité biologique du produit, l'efficacité sylvicole de ce nouveau produit dans le temps, selon l'espèce plantée, doit donc être vérifiée. Les analyses permettront alors de déterminer l'efficacité et la durabilité de ce nouveau traitement et son efficacité à réduire significativement la compétition de manière à satisfaire les besoins en lumière des semis plantés et à favoriser leur croissance. (Wall 1994; Jobidon, 1998).

Par ailleurs, l'application de ce nouveau traitement soulève la question de sa rentabilité économique et de la productivité de l'opérateur. Lors d'une étude de temps exploratoire réalisée par TecSult (2001) sur le débroussaillage mécanique combiné à l'application du produit Myco-Tech^{MC}, les résultats indiquaient que la productivité des travailleurs était beaucoup moins élevée dans l'utilisation de ce nouveau traitement : soit un minimum de 29,4 et un maximum de 83h productives/hectare, comparées à des valeurs respectivement entre 3,5 et 35h productives/hectare lors d'un débroussaillage mécanique conventionnel (sans application du produit Myco-Tech^{MC}).

Pour que le traitement biologique soit rentable, les coûts supplémentaires engendrés par un temps de débroussaillage plus long devront être justifiés par l'absence d'un second débroussaillage dans les secteurs traités avec l'agent biologique. C'est pour répondre à ces questions que la Direction de la Recherche Forestière du Québec (DRF) a entamé une étude, comprenant trois perspectives, consacrée à l'évaluation du nouveau traitement sylvicole :

- Comparer l'efficacité sylvicole du produit Myco-Tech^{MC} avec celle obtenue par un débroussaillage mécanique conventionnel et avec deux débroussaillages mécaniques successifs.
- Déterminer l'effet du produit Myco-Tech^{MC} sur le retour de la compétition, et par conséquent sur la lumière disponible et la croissance des semis résineux.
- Déterminer la différence entre la productivité des travailleurs pour un débroussaillage mécanique conventionnel et la méthode de débroussaillage mécanique avec application du produit Myco-Tech^{MC}.

Parallèlement à ces objectifs, la DRF a voulu vérifier que ce nouveau traitement sylvicole impliquant donc de nouveaux équipements et de nouvelles méthodes de travail, n'imposait pas des contraintes supplémentaires aux travailleurs. C'est sur ce complément d'information qu'une étude ergonomique a été envisagée, laquelle est décrite dans ces pages.

1.2. Pertinence d'une étude ergonomique

Le secteur du débroussaillage est en proie à un nombre important de problèmes de santé sécurité au travail. Le travailleur peut dans certain cas être soumis à des postures contraignantes en raison de conditions de terrain difficiles et du poids de sa débroussailleuse. Lors d'une étude d'événements accidentels ayant porté sur les opérations de débroussaillage, entre juin 1997 et mai 1998, Hébert et coll. (2000) mettaient en évidence un nombre élevé de blessures aux membres inférieurs, chez les débroussailleurs. Les principales causes de ces blessures, sur deux tiers des 189 événements accidentels étudiés, étaient liées aux conditions de terrain : présence d'arbres ou de pierres au sol et pente du terrain. Selon ces auteurs, ces conditions favoriseraient la perte d'équilibre chez l'opérateur et le risque de blessures par contact avec la lame de la débroussailleuse, ainsi que des blessures au dos ou aux genoux.

En plus de ces risques inhérents à l'environnement de travail, l'équipement du débroussailleur entraîne certaines contraintes de poids et de postures. Par exemple, le débroussailleur doit transporter son outil dont le poids moyen est de 12 kg (25 lb) et ce, sur des terrains accidentés et très encombrés (végétation compétitrice dense, arbres, souches, pierres, trous, andins, etc.) avec souvent des obstacles au sol difficilement visibles en raison d'un recouvrement par la végétation. De plus, la débroussailleuse est portée sur le côté du corps, produisant une asymétrie de chargement, au niveau du tronc. Enfin, la débroussailleuse peut produire des effets de rebond lorsque sa lame percute un débris ligneux ou d'autres obstacles, engendrant ainsi un déséquilibre et des efforts imprévus chez le travailleur (Hébert et coll. 2000).

Dans le cas du nouveau traitement sylvicole, l'opérateur est tenu de badigeonner les tiges fraîchement coupées avec la pâte Myco-Tech^{MC}. Ce badigeonnage doit s'opérer, pour un maximum d'efficacité, dès que possible après la coupe de la tige. Pour les spécialistes du domaine, la modalité la plus satisfaisante pour réaliser ce traitement consiste à demander à un seul et même travailleur de réaliser le débroussaillage et le badigeonnage. Cette méthode dite intégrée apparaît comme la plus satisfaisante, tant du point de vue de la productivité que de la SST. Une autre méthode testée consistait à confier l'application du produit à un autre travailleur, créant une équipe de deux. À cause des contraintes de temps (la pâte devant être appliquée immédiatement après la coupe), cette méthode exigeait que la personne affectée à l'application du produit travaille à proximité d'un débroussailleur, ce qui augmentait le risque de blessures. Cette méthode a été donc abandonnée dès le début.

Avec la méthode dite intégrée, l'appareil de distribution du produit est monté sur la débroussailleuse et le travailleur porte un bidon du produit sur son dos (Figure 1). Un harnais spécialement conçu pour accueillir l'équipement nécessaire a d'ailleurs été développé à cet effet.



Figure 1: Dispositif Myco-Tech^{MC} vu de côté et de l'arrière.

Toutefois, pour le travailleur, cette méthode n'est pas sans contraintes. Par exemple, lors d'essais réalisés entre août et septembre 2003, le bidon porté par les débroussailleurs et employé pour le badigeonnage, ajoutait un poids supplémentaire de 5 à 7 kg soit un poids total d'équipements de 18 à 22,7 kg incluant le bidon, le dispositif d'épandage, le casque, le harnais et la débroussailleuse. De plus, comme le bidon est la composante la plus lourde de l'équipement ajouté, celui-ci avait pour effet d'élever sensiblement le centre de gravité du travailleur, d'accentuer le déséquilibre du travailleur (Holbein et Chaffin 1997) et de rendre plus difficile la reprise d'un bon appui lors d'un incident. Cette observation suggère donc que le contrôle additionnel de l'équilibre dû au nouveau bidon entraîne une augmentation du coût physiologique pour cette méthode intégrée. Ce constat pourrait être même d'autant plus sévère compte tenu du transport de ce poids additionnel durant toute la journée du travailleur.

L'utilisation de la méthode intégrée devrait donc s'associer à une baisse de la productivité (réduction de la cadence) des travailleurs en raison de l'augmentation du coût physiologique associé à ce nouvel équipement. Il apparaît donc important de mettre en relation la baisse de productivité de l'opérateur avec le coût physiologique du travail pour s'assurer que le nouveau traitement ne se solde pas par une augmentation nette de la charge de travail physique, laquelle pourrait accroître le risque de fatigue excessive. En ce sens, la détermination du coût physiologique associé au nouveau traitement permettrait de formuler une recommandation quant à l'organisation temporelle du travail qui permet d'éviter l'accumulation d'une fatigue induite ou excessive (Rodgers 1986; Rohmert 1973; Mital et Shell 1986).

En effet, la fatigue excessive associée à une charge de travail élevée et/ou à une

récupération inadéquate (nombre et durée insuffisants de pauses) mène à une détérioration de la capacité musculaire ainsi que de la coordination musculaire (Rohmert 1973) lesquelles peuvent être à l'origine d'une perte de contrôle de l'équilibre ou de la précision des gestes lors de la manipulation des outils de travail (débroussailleuse). Il est aisé de concevoir qu'une fatigue excessive pendant l'exécution d'un travail impliquant l'utilisation d'un outil dangereux puisse facilement mener à des incidents ou à des mouvements mal contrôlés aux conséquences potentiellement graves. De plus, dans des conditions de fatigue excessive associée à des activités de longue durée, le travailleur peut subir des épisodes hypoglycémiques (Roberts 2002). Dans ce cas, l'attention diminue de sorte que les accidents deviennent plus probables parce que l'opérateur n'est plus en mesure de composer aussi efficacement avec les incidents pouvant survenir.

1.3. Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude est d'estimer le coût physiologique du nouveau traitement sylvicole (méthode intégrée), utilisée lors des essais qui se sont déroulés entre août et septembre 2003. L'étude comporte les objectifs secondaires suivants:

- Comparer le coût physiologique du nouveau traitement sylvicole à celui du travail de débroussaillage conventionnel en vue de déterminer le coût relatif additionnel du nouveau traitement sylvicole;
- Proposer un régime d'alternance travail-repos permettant de minimiser les risques de fatigue excessive pour le nouveau traitement sylvicole;
- Formuler des recommandations quant à la pertinence d'améliorer les équipements (ex., harnais) et/ou les méthodes de travail associées au nouveau traitement sylvicole. Comme ce traitement a été testé sur le terrain pour la première fois, il est plausible d'envisager que ces observations réalisées sur le terrain permettront de dégager des avenues d'amélioration.

2. Méthodologie

Cette étude ergonomique est donc un complément d'analyse au projet de la DRF consacré à l'évaluation d'un nouveau traitement sylvicole destiné aux travailleurs affectés au débroussaillage. Les données nécessaires à cette étude ergonomique ont donc été recueillies en même temps que celle du projet de la DRF, lors des mois d'août et de septembre 2003. Les choix expérimentaux et plusieurs mesures de l'étude ergonomique se calquent donc sur la méthodologie du projet de la DRF.

2.1. Terrain

Conformément à ce qui avait été prévu par le protocole expérimental de la DRF, le nouveau traitement sylvicole a été testé sur deux sites sélectionnés selon plusieurs critères dont les espèces pour lesquelles le produit biologique à la base du traitement est homologué, la date de la dernière coupe et la date du reboisement. Sur chacun des deux sites, des unités expérimentales de 30 m x 30 m ont été préparées à l'intérieur desquelles 9 parcelles échantillons à rayon fixe de 1,13 m, correspondant à des unités d'échantillonnage, ont été installées. À partir d'une grille positionnant les 9 points

d'échantillonnage systématiquement dans l'unité, le centre des parcelles a été déplacé sur le semis planté le plus près.

2.2. Sujets expérimentaux

Au total, 10 travailleurs sylvicoles ont été recrutés afin que chacun soit assigné à un des 10 blocs expérimentaux des deux sites d'étude, avec en plus deux travailleurs suppléants en cas de problèmes. Chaque bloc expérimental comprenait quatre traitements appliqués à quatre unités expérimentales : A) scénario à un dégagement avec utilisation du produit Myco-Tech^{MC}; B) scénario à un seul dégagement; C) scénario à deux dégagements (le deuxième prévu deux à trois ans après le premier dégagement, selon les besoins en lumière des semis); D) témoin non traité. L'analyse ergonomique portait sur les traitements A et B de chaque bloc expérimental. Les travailleurs ayant participé à l'étude possédaient un minimum d'une saison d'expérience en débroussaillage et avaient une méthode de travail jugée stable par les entrepreneurs sylvicoles participants. Les mesures descriptives habituelles ont été obtenues pour chaque sujet (ex., âge, poids, taille, expérience) et l'observation a eu lieu durant le débroussaillage de 2 unités expérimentales sur 2 jours consécutifs. Enfin, les travailleurs ont reçu une formation complète pour le badigeonnage du produit sur les souches durant environ deux semaines précédant l'étude.

2.3. Dispositif expérimental

Deux modalités de traitement sylvicole ont été observées et enregistrées: 1) la méthode dite *intégrée* pour laquelle l'appareil de distribution du produit biologique est fixé sur la débroussailleuse et le réservoir est porté sur le dos de l'ouvrier qui effectue simultanément le débroussaillage et le badigeonnage (traitement A) et, 2) le travail de débroussaillage mécanique conventionnel qui constitue la condition de comparaison (traitement B). Deux séquences de traitements étaient donc possibles : AB (séquence 1) et BA (séquence 2). L'étude a été réalisée dans un nombre pair de blocs par site et chacun des travailleurs choisissait au hasard une des séquences: huit travailleurs dans la séquence 1 et deux dans la séquence 2, pour un total de 10 travailleurs. Les deux traitements où le travailleur était observé ont été étalés sur deux jours afin que la fatigue accumulée à la suite d'un traitement n'influence pas les résultats associés à la condition suivante.

Le dispositif expérimental (crossover) a comparé les productivités du même travailleur dans deux sites de même superficie (Mead 1990). Les variables susceptibles d'influencer la productivité des débroussailleurs ont été mesurées dans chacune des unités expérimentales afin de pouvoir les inclure en covariables dans l'analyse statistique si les conditions des deux traitements pour le même travailleur n'étaient pas homogènes. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide d'un modèle mixte d'analyse de variance avec covariable et effet aléatoire du travailleur (proc Mixed de SAS).

2.4. Mesures

Dans le cadre de cette étude, l'enregistrement de la fréquence cardiaque a constitué le principal indicateur du niveau d'astreinte physique des travailleurs. La mesure du rythme

cardiaque constitue en effet un moyen simple et pratique pour estimer la charge de travail. Le rythme cardiaque reflète non seulement la dépense énergétique associée au travail musculaire, mais également les réactions de l'organisme aux variations de l'ambiance physique (température, humidité), au stress et à la fatigue.

2.4.1. Fréquence cardiaque

Pour cette étude, la fréquence cardiaque a été mesurée à l'aide d'un cardiofréquencemètre portatif de type Polar Electro (Finlande). La fréquence cardiaque a été enregistrée toutes les 5 secondes pendant toute la durée du traitement étudié. Les paramètres suivants ont ainsi pu être obtenus :

- La $F_{c_{\text{repos}}}$ mesurée pendant 5 minutes en posture assise avant le début du travail ou il s'agit de la valeur dépassée 99% du temps d'enregistrement (Malchaire 1988).
- La $F_{c_{\text{travail}}}$ moyenne pour chaque activité durant le travail.
- La $F_{c_{\text{max}}}$ a été estimé à partir de la formule : $F_{c_{\text{max}}} = 220 - \text{age}$

Le calcul du coût cardiaque relatif permet de connaître la proportion de la capacité cardiaque utilisée durant le travail. Il permet ensuite de comparer l'astreinte physique entre les différents sujets de l'étude. Le CCR est obtenu en divisant l'augmentation de la F_c de travail par l'augmentation possible de la F_c (Rodgers 1986):

$$\text{CCR} = \frac{F_{c_{\text{travail}}} - F_{c_{\text{repos}}}}{F_{c_{\text{max}}} - F_{c_{\text{repos}}}} \times 100$$

À partir du tracé de la F_c travail, les extrapulsoctions cardiaques thermiques (EPCT) ont été calculées en suivant la méthode proposée par Vogt et al. (1973) dont l'application est bien décrite dans quelques ouvrages dont notamment celui de Mairiaux et Malchaire (1990) et la norme ISO 9886 (2004). En bref, à la fin d'une période de travail à la chaleur lorsque la récupération débute, la F_c comporte deux composantes: la première étant due au travail mécanique (extrapulsoctions cardiaques mécaniques ou EPCM) et l'autre à l'accumulation de chaleur corporelle (EPCT). Il est supposé que la composante mécanique est récupérée au cours des 4 premières minutes de la pause. Ainsi, à partir de la 4^e minute débute l'évacuation de la chaleur corporelle (ou récupération de la composante thermique EPCT). Le fait de pouvoir séparer ces deux composantes permet une évaluation du métabolisme de travail qui est nettement plus précise que l'utilisation de tables de références fournissant des valeurs de métabolisme selon le type d'activité effectué. L'évaluation du métabolisme de travail est faite à partir des EPCM et de la relation F_c vs VO_2 obtenue lors d'un test à l'effort sous-maximal (section suivante). L'évaluation du métabolisme de travail est nécessaire pour l'utilisation d'indices de contrainte thermique tel que le WBGT (à la base de la réglementation québécoise) et pour la classification du travail.

Meyer et al. (2001) proposent une limite de sécurité de 20 bpm pour les EPCT qui permet de protéger 95% des travailleurs contre une augmentation de la température bucale (dtbu) de 1 degré C. La température bucale est considérée comme un indicateur fiable de la température centrale. L'augmentation correspondante est de 33 bpm pour la moyenne des

travailleurs (ISO 2004).

2.4.2. Step-Test

La relation entre la fréquence cardiaque (F_C) et la consommation d'oxygène (VO_2) se compose d'une partie linéaire (Meyer et Flenghi, 1995). Cette linéarité permet d'estimer la consommation d'oxygène nécessaire pour une activité de travail à partir de la mesure de la fréquence cardiaque. L'exercice du step-test développé par Meyer et Flenghi permet d'établir cette relation F_C - VO_2 propre à un sujet à partir de mesures faites sur les lieux de travail. Selon ces auteurs, cet exercice de montée et descente de marches est simple à administrer et ne comporte aucun risque pour les travailleurs dont on ne connaît pas la santé cardiovasculaire. La réalisation de ce test n'engendre pas l'atteinte de fréquences cardiaques élevées (normalement en dessous de 50% de la $F_{C_{max}}$) et il est normalement interrompu dès que la F_C du sujet atteint les 140-145 bpm. Toutefois, avant le test, les sujets sont invités à remplir un questionnaire d'aptitude à l'activité physique (Q-AAP)¹ afin de s'assurer que leur état de santé est stable et qu'il ne pourra pas être aggravé par la réalisation du test. De plus, l'établissement de la relation F_C - VO_2 permet également d'estimer la $VO_{2_{max}}$ d'un sujet, l'un des indicateurs les plus fidèles de sa condition physique (Meyer et Flenghi, 1995).

La procédure d'exécution du step-test consiste à faire monter successivement à un sujet des marches de hauteur croissante (11,5 cm, 21,5 cm, 31,5 cm et 41,5 cm). À la suite d'un repos assis de 5 minutes et d'un repos debout de 2 minutes, le sujet effectue, à la cadence de 15 marches par minutes et pendant 3 minutes, la montée de la première marche. Ensuite, le sujet se repose 30 secondes, le temps de déplacer la marche au palier suivant.

À partir des résultats du step-test (relation F_C - VO_2 du sujet) et de la composante motrice de la F_C durant le travail (EPCM), la dépense énergétique peut être estimée pour chaque sujet tel que décrit plus haut. Également, le VO_2 relatif noté VO_2R permet de connaître la proportion de VO_2 utilisée par chaque travailleur lors de son activité de débroussaillage. Le VO_2R est équivalent au CCR ou peut être obtenu par la formule suivante (Wu and Wang 2002):

$$VO_2R = \frac{VO_{2_{travail}} - VO_{2_{repos}}}{VO_{2_{max}} - VO_{2_{repos}}} \times 100$$

2.5. Étude de temps

Une étude de temps a été réalisée pour chaque unité expérimentale. L'heure et la nature des actions et des événements entourant le débroussaillage complet d'une unité

¹ Le Q-AAP peut être téléchargé (dernier accès le 26 mai 2007) de:
<http://www.csep.ca/communities/c576/files/hidden/pdfs/q-aap.pdf>

expérimentale ont ainsi été relevées. Ces données temporelles permettent d'établir la consommation de temps en heures par hectare traité. De plus, les temps détaillés de chaque activité de travail ont été décrits de façon à obtenir un portrait précis des périodes de temps effectif de chaque travailleur, c'est-à-dire les moments pendant lesquels le débroussailleur travaille sans exception. Cette description a été effectuée par observation directe en utilisant un ordinateur portable muni d'un logiciel d'étude de temps (PC9800 Dap Technologies, logiciel programmé par le service informatique de la DRF). Les informations ainsi recueillies permettent d'interpréter les enregistrements continus de fréquences cardiaques. Le tableau 1 donne une description des activités observées. La division des temps est basée sur les travaux de Samset (1990). Pour l'étude de temps, l'analyse statistique a été réalisée à l'aide d'un modèle mixte d'analyse de variance avec covariable, et effets aléatoires du travailleur (proc Mixed de SAS).

2.6. Ambiance thermique

La température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air ont été mesurées aussi près de la zone de travail que possible. Ces paramètres étaient relevés aux heures afin d'en permettre le suivi au cours de la journée. Également, les conditions d'ensoleillement ont été notées à la même fréquence afin de permettre une approximation du WBGT tel que proposée par Chengalur et al. (2004).

Le WBGT n'a pu être mesuré sur place pour des raisons essentiellement pratiques. D'abord l'appareil est fragile et donc difficile à protéger en milieu forestier, particulièrement en débroussaillage où le sol est jonché de déchets de coupe. Il est relativement lourd de sorte qu'il est difficile d'obtenir une mesure proche d'un travailleur qui se déplace constamment. Lors des journées de plein soleil, le bac d'eau distillée servant à la mesure de température humide naturelle (Thn) peut se vider en moins de 20 minutes nécessitant l'attention presque constante d'une personne (ce qui devient rapidement impossible): quelques tentatives de mesures ont mené à des valeurs non fiables.

2.7. Enregistrements vidéo

Des enregistrements vidéo d'une durée continue de 20 minutes ont été recueillis à différents moments de la journée jugés opportuns afin de conserver des données visuelles des différentes conditions et activités. Ces segments vidéo ont permis la caractérisation des méthodes de travail et des postures adoptées par les travailleurs selon l'équipement utilisé. Les vidéos ont été analysées à l'aide du logiciel *The Observer* (Noldus <http://www.noldus.com/site/doc200401012>). La posture du débroussailleur, la position de la lame de la débroussailleuse et certaines actions dont certaines pouvant comporter des risques ont ainsi été notés en termes de fréquence d'occurrence et de durée.

Tableau 1: Description des activités observées durant le travail de débroussaillage selon le type de traitement sylvicole.

Catégorie	Activité	Traitement		Description
		Conv	Myco	
Temps de travail total	Temps effectif + délais	Oui	Oui	Temps requis pour traiter un hectare de terrain incluant le temps effectif et les délais de toutes catégories. Comme l'étude portait sur une superficie restreinte (900 mètres carrés), certains délais et périodes d'inactivité ne sont pas répertoriés.
Temps effectif	Débroussaillage	Oui	Oui	Temps requis pour réaliser un élément de travail spécifique qui modifie directement ou indirectement l'objet dans sa forme, sa position ou son état. Action de couper les branches et broussailles dans un rayon d'un mètre autour d'un semis sélectionné. La coupe doit être pratiquée à une hauteur maximale de 15 cm.
Délai personnel	Pause	Oui	Oui	Délais causés par le travailleur et qui sont nécessaires quand il réalise son travail de manière rationnelle. (repos, souvent assis, fumer une cigarette ou prendre une collation)
Délai opérationnel	Marche	Oui	Oui	Délai causé par l'organisation du travail. Le débroussailleur se déplace à pied sur le terrain sans travailler ou entre son camion et son terrain.
Délai opérationnel	Limage	Oui	Oui	Le débroussailleur affûte la lame de sa débroussailleuse.
Délai opérationnel	Plein d'essence	Oui	Oui	Le débroussailleur fait le plein d'essence et d'huile (moteurs 2 temps) de la débroussailleuse.
Délai opérationnel	Délai opérationnel	Oui	Oui	Délai causé par l'organisation du travail. Le débroussailleur discute avec le contremaître, ou avec un collègue pour des questions qui concernent l'organisation du travail.
Délai opérationnel	Délai mécanique	Oui	Oui	Temps perdu à cause de problèmes avec la machinerie, ainsi que réparations et entretiens réalisés sur le site de travail. La débroussailleuse ou l'équipement Myco-Tech ^{MC} sont hors d'état de fonctionner et demandent une réparation. Ce délai n'inclut pas le plein ni le limage devant être faits régulièrement et qui sont prévisibles.
Délai opérationnel	Installation de l'équipement	Oui	Oui	Le débroussailleur installe la débroussailleuse et/ou l'équipement Myco-Tech ^{MC} . Parfois, il remet son harnais aussi.
Délai opérationnel	Enlèvement de l'équipement	Oui	Oui	Le débroussailleur décroche la débroussailleuse et/ou l'équipement Myco-Tech ^{MC} . Parfois, il enlève son harnais aussi.
Délai opérationnel	PleinMyco	Non	Oui	Le débroussailleur remplit le réservoir métallique de produit Myco-Tech ^{MC} .
Délai opérationnel	Pression	Non	Oui	Le travailleur augmente la pression dans le réservoir à l'aide d'un petit compresseur électrique.
Délai opérationnel	Tampon	Non	Oui	Le débroussailleur change le tampon d'application du produit Myco-Tech ^{MC} . Le tampon est fixé près de la lame de la débroussailleuse.
	Autre	Oui	Oui	Impossible de dire ce que fait exactement le travailleur. Parfois il travaille, parfois il marche, parfois il se repose.

2.8. Qualité du traitement

Les travailleurs avaient la consigne de badigeonner toutes les tiges coupées ayant un diamètre supérieur ou égal à 1 cm. Ce seuil avait été choisi parce que, lors des tout premiers essais, il apparaissait difficile voire impossible de badigeonner les souches plus petites (elles ployaient sous le tampon et il était difficile d'appliquer le produit sur ces souches). Du point de vue biologique, il aurait fallu toutes les badigeonner afin de maximiser l'efficacité du traitement. Sachant que la distribution de densité de souches en fonction du diamètre suit généralement une courbe $1/x$, plus on réduit le diamètre minimum à badigeonner, plus il y a de tiges à badigeonner par unité de superficie. Comme il faut déjà un temps considérable pour badigeonner celles qui ont plus d'un cm de diamètre, on peut imaginer qu'il serait tellement long de tout badigeonner que le traitement coûterait trop cher pour être rendu opérationnel.

La qualité du badigeonnage du produit Myco-Tech^{MC} a été donc évaluée en comptant le nombre de tiges badigeonnées d'un diamètre supérieur ou égal à 1 cm dans un rayon de 0,56 m autour de 4 tiges d'une parcelle prise au hasard, soit un l'échantillonnage d'une surface totale de 4 m carrés. La parcelle prise au hasard faisait partie des parcelles échantillonnées en vue d'évaluer la qualité du travail de débroussaillage (voir section 2.1 ci-dessus).

2.9. Procédure de collecte des données

Le travailleur était rencontré dès son arrivée sur les lieux du travail, soit vers 6h00, le matin de l'étude. Le premier jour, les objectifs de l'étude ainsi que la nature de l'implication du travailleur lui étaient communiqués. Suite à son accord, le travailleur était invité à remplir le questionnaire d'aptitude à l'activité physique (Q-AAP). Si les résultats de ce questionnaire étaient satisfaisants, le travailleur pouvait alors poursuivre l'étude et un cardiofréquencemètre était installé. Le travailleur était invité à prendre une pause calme assise de 5 minutes afin d'obtenir une valeur de base pour les données de fréquence cardiaque. Une fois la pause terminée et toujours avant le début du travail, un step-test était réalisé. Le travail pouvait ensuite débuter, et les temps détaillés de chaque activité de travail étaient relevés par observation directe. À la fin de la période d'observation, le cardiofréquencemètre était enlevé et le sujet libéré. Le lendemain matin, le cardiofréquencemètre était réinstallé sur le sujet pour la seconde condition de traitement et une procédure de collecte de données analogue était utilisée (le step-test n'était pas ré-administré). À tout moment, le sujet pouvait formuler des remarques sur l'équipement qu'il testait en termes d'avantages et d'inconvénients, lesquels étaient notés par l'observateur. Le sujet était totalement libre d'abandonner l'étude s'il le désirait.

3. Résultats

Le fichier de fréquence cardiaque de l'un des sujets pour le traitement avec produit Myco-Tech^{MC} a été écrasé par erreur de sorte que les résultats portent sur 10 tracés de fréquence cardiaque pour la condition "débroussaillage conventionnel" et 9 tracés pour la condition "Myco-Tech^{MC}".

3.1. Facteurs de site

Chaque unité expérimentale a fait l'objet de mesures pour estimer les facteurs de site avant l'étude. Une mesure d'intensité lumineuse disponible ("photosynthetically active radiation") pour les semis à l'étude a été recueillie à l'aide d'un radiomètre (Sunfleck Ceptometer, model SF-80), selon la méthode proposée par Jobidon (1992). Aussi, les densités respectives d'arbres et arbustes de hauteur supérieure ou égale à 0,15 mètre, ainsi que de un mètre et plus, ont été obtenues par dénombrement dans les neuf parcelles de 4 mètres carrés centrées sur des semis dans chaque unité expérimentale. Le tableau 2 résume les principaux résultats. Les espèces d'arbres et arbustes en présence ont aussi été répertoriées. Les blocs expérimentaux ont été formés en regroupant les unités expérimentales les plus homogènes selon les critères suivants : espèces d'arbres et arbustes, quantité de lumière disponible pour les semis (%), densité d'arbres et arbustes (nombre de tiges/hectare de hauteur supérieure ou égale à un mètre). Comme il est difficile d'obtenir une homogénéité parfaite en forêt, le dispositif expérimental prévoyait l'utilisation des mesures obtenues sur les facteurs de site en covariables dans l'analyse statistique si des différences significatives étaient observées entre les unités expérimentales du même bloc.

Tableau 2: Statistiques descriptives des traitements.

Traitement	N	Variable	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Mycotech ^{MC}	10	Lumière (%)	41,87	16,23	16,4	70,2
		Densité tiges/ha h ≥ 1m	58138,9	21761,2	27778,0	98056,0
Conventionnel	10	Lumière (%)	42,04	14,71	25,2	66,6
		Densité tiges/ha h ≥ 1m	61694,4	21974,2	40833,0	96389,0

La densité des paires d'unités expérimentales n'était pas significativement différente dans l'ensemble ($F_{1,8} = -0,81$, $p < 0,4421$). Il en était de même pour la quantité de lumière disponible ($F_{1,8} = -0,08$, $p < 0,9413$).

3.2. Sujets

Le tableau 3 décrit les principales caractéristiques des sujets ayant participé à l'étude: 9 hommes et 1 femme. Le traitement étant au stade expérimental, il était difficile de recruter un nombre suffisant de sujets intéressés à participer à l'étude. Toutefois, la structure en chassé croisé ("Crossover") du dispositif expérimental permettait d'inclure une femme puisqu'on comparait la performance d'une même personne dans deux traitements. L'âge moyen des hommes était de 31 ans ± 10,5. La fréquence moyenne de repos se situe, pour les hommes, autour de 78,1 b/min et la fréquence maximale atteinte durant le travail est de 174 b/min. Pour ce qui concerne l'unique femme de ce groupe, la fréquence de repos était de 83 b/min et la fréquence maximale durant le travail est de 158 b/min. En moyenne, l'IMC (indice de masse corporelle) correspond à un poids normal selon Santé Canada (2003), cependant 2 sujets ont un léger excès de poids ($IMC \geq 25$), 7 ont un poids normal ($18,4 \leq IMC < 25$) et un a un poids légèrement insuffisant ($IMC =$

18,3). Selon Campbell (1988)², la valeur estimée du VO₂ max est largement inférieure à la moyenne du groupe d'âge respectif tant pour les hommes que pour la femme (une fumeuse). Plus précisément, 6 hommes sont sous le 15^e centile de la distribution pour la population canadienne de leur groupe d'âge (dont 3 sont fumeurs), 1 est au 25^e centile (fumeur) et deux autres sont autour du 75^e centile (dont l'un est fumeur). Selon ces travailleurs, la journée de travail a typiquement une durée moyenne de 9,14 h (\pm 1,4 h, plage de 6 à 10 h).

Tableau 3: Caractéristiques des sujets de l'étude.

	Homme (n=9)		Femme (n=1)
	Moyenne	Écart type	Valeurs
Âge	31,4	10,5	40,0
Taille (cm)	180,0	5,5	163,0
Poids (kg) ¹	79,7	9,5	64,9
IMC	23,5	2,6	23,1
Fc repos (b/min)	78,1	7,1	83
VO ₂ max (mlO ₂ /kgmin)	40,6	5,1	26,6

¹ le poids mesuré sur le terrain lequel inclut un total d'environ 3,5 kg au-delà du poids corporel tenant compte de l'habillement (environ 1,5 kg) et des bottes de sécurité (environ 2 kg).

3.3. Poids de l'équipement de débroussaillage

Sur le plan pratique, le poids de l'équipement dans le cas du débroussaillage avec produit Myco-Tech^{MC}, soit l'équipement habituel —casque, visière ou lunettes de sécurité, gants, harnais, débroussailleuse— et l'appareillage nécessaire à l'application du produit Myco-Tech^{MC} était en moyenne de $20,7 \pm 0,9$ kg (plage de 19,1 à 22,1 kg), soit 26,1% du poids corporel. À l'inverse, le poids de l'équipement habituel des débroussailleurs est en moyenne de $12,2 \pm 1,51$ kg (plage de 9,3 à 17,4 kg), cette valeur ayant été obtenue à partir d'investigations antérieures réalisées sur un groupe de 42 débroussailleurs (Chiasson 2004). Les poids plus élevés (ex., 17,4 kg) dans l'étude de Chiasson (2004) correspondent à la situation très peu fréquente où le débroussailleur traîne dans un sac à dos un bidon d'eau et/ou d'essence pour s'éviter des pas au moment de faire le plein ou pour manger. L'équipement nécessaire au badigeonnage ajoute donc un poids additionnel moyen de 8,5 kg à l'équipement du débroussailleur.

Chaque débroussailleur utilisait son propre équipement (débroussailleuse, harnais, outils) et le promoteur du produit Myco-Tech^{MC} fournissait l'équipement d'épandage. Malgré le poids uniforme du matériel d'épandage fourni aux débroussailleurs, le poids qu'ils portaient était variable puisqu'ils ne remplissaient pas tous le réservoir de pâte Myco-Tech^{MC} avec la même quantité de produit. Certains débroussailleurs cherchaient à en mettre juste assez pour durer le temps d'un plein d'essence, tandis que d'autres préféraient le remplir au maximum. Il était difficile pour le travailleur de déterminer la

² Institut Canadien de la recherche sur la condition physique et le mode de vie. (1988). Données de l'enquête Campbell sur la condition physique et l'anthropométrie (données fournies sous forme de tableaux). Canada, 6 p. http://www.cflri.ca/fra/donnees_provinciales/campbell1988/index.php - site accédé le 26 mai 2007.

bonne quantité de pâte pour durer le temps d'un plein d'essence de la débroussailleuse, puisque le dispositif d'épandage se décalibrerait parfois, laissant plus ou moins de pâte s'échapper à la fois. Comme cette pâte comprend de l'argile, le poids porté variait entre deux travailleurs. Les contraintes opérationnelles du projet ne permettaient pas d'utiliser le même équipement pour chaque travailleur : trois travailleurs étaient observés simultanément par trois observateurs, sur deux journées consécutives.

3.4. Ambiance thermique

L'isolement vestimentaire de base moyen est estimé à environ 0,87 clo (écart-type de 0,09) selon ISO 9920 (1995). Lorsque le travailleur porte un filet, une visière et un imperméable, cette valeur peut grimper facilement au-delà de 1,1 clo. Notons que l'effet de pompage soit l'apport d'air frais sous les vêtements lors des mouvements du corps et qui facilite l'évacuation de chaleur corporelle emprisonnée dans les vêtements, est pratiquement nul en raison du fait que les travailleurs vont généralement chercher à fermer les ouvertures par lesquelles les moustiques peuvent s'introduire. Également, le harnais de la débroussailleuse a pour effet de limiter les mouvements d'air au niveau du haut du corps et d'ajouter une couche isolante vis-à-vis les courroies, quoique la valeur isolante du harnais soit difficile à évaluer.

Le tableau 4 donne un aperçu des conditions d'ambiance thermique au cours de 8 journées d'observations sur le terrain (4 jours durant la seconde moitié du mois d'août et 4 jours durant la première moitié de septembre).

Tableau 4: Paramètres de l'ambiance thermique.

	Ta (°C)	Th (°C)	% humidité	Va (m/s)	WBGT
19 août	13,9 à 32,4	12,4 à 22,2	32,5 à 75,3	0,9 à 4,7	19,2 à 32,6
20 août	20,9 à 35,9	17,4 à 23,9	37 à 76,1	0,3 à 2,5	23,5 à 32,9
21 août	23,9 à 32,6	17,4 à 24,3	30,9 à 61,5	0,3 à 2,0	25,4 à 33,4
22 août	20,7 à 28	17,5 à 17,7	46,7 à 72,5	2,6 à 4,1	22,9 à 26,0
9 septembre	4,9 à 21,2	4,5 à 14,1	40 à 75,1	0,0 à 3,4	13,7 à 23,5
10 septembre	13,8 à 27,6	11,2 à 20,8	50,4 à 72,2	1,1 à 2,4	17,3 à 27,8
11 septembre	12,1 à 25,6	11,7 à 18,8	46,8 à 99,3	0,0 à 3,2	17,9 à 28,3
12 septembre	17,9 à 32,5	16,9 à 23,3	46,7 à 90,9	0,7 à 1,7/	25,3 à 33,5
Moyenne	23,4	17,4	55,7	1,7	23,8
Écart-type	6,1	4,1	15,1	1,0	5,5
Extrêmes	4,9 – 35,9	4,5 – 25,0	30,9 – 99,3	0 – 4,35	13,7 – 34,6

La température ambiante est représentée par Ta. Th indique la température humide et Va la vitesse de l'air. Au cours de cette étude, le ciel a été complètement dégagé 56% du temps (plein soleil), il était partiellement couvert durant 25% du temps (passages nuageux), complètement couvert durant 18% du temps et il a plu 1% du temps (soit durant environ 1 heure). Les valeurs les plus élevées d'humidité relative ont systématiquement été observées tôt le matin. Les valeurs WBGT tiennent compte de l'habillement: une correction de 4°C a été utilisée lorsque l'imperméable n'est pas porté et 7°C lorsqu'il est porté (Chengalur et al. 2004; Reneau et Bishop 1996). Une analyse de variance indique qu'il n'y a aucune différence entre les deux traitements en ce qui a trait à la température sèche ($F_{1,8} = 3,29$, $p < 0,1071$) et le WBGT ($F_{1,8} = 0,34$, $p < 0,8231$). Les

conditions d'ambiance thermique ont donc été similaires pour les deux traitements.

3.5. Astreinte liée au travail

Le tableau 5 présente le coût cardiaque relatif (CCR) pour chaque activité de travail selon le type de traitement sylvicole. Le tableau présente également le nombre moyen par sujet d'occurrence de chaque activité ainsi que la moyenne et l'écart-type de la durée de l'activité. Pour l'activité "débranchage", la valeur du coût cardiaque relatif dépouillé de l'effet de l'ambiance thermique est aussi indiquée. En tout, 88 périodes de débranchage ont été observées durant les 8 jours: 38 pour le débranchage conventionnel (10 tracés de Fc: un par travailleur) et 50 pour le débranchage avec produit Myco-Tech^{MC} (9 tracés de Fc; un tracé a été perdu tel qu'indiqué plus haut). De façon générale —sur l'ensemble des activités— on note une différence de 2% entre les deux traitements. Cette différence n'est pas statistiquement significative et vraisemblablement négligeable sur le plan pratique; les deux traitements représentent des sollicitations cardiorespiratoires équivalentes. Le même constat vaut lorsqu'on considère uniquement l'activité de débranchage; les deux conditions entraînent pratiquement le même niveau de sollicitation, que l'effet de la contrainte thermique soit considéré ou non.

Tableau 5: Coût cardiaque relatif, nombre moyen et durée selon l'activité et selon le type de traitement (moyennes et écart-types fournis).

Activité	Débranchage conventionnel		Débranchage produit Myco-Tech ^{MC}	
	CCR (%)	Nbre ¹ / Durée (min)	CCR (%)	Nbre / Durée (min)
Toutes activités confondues	37,5 ± 14,7 ²	11,6 / 16,7 ± 19,8	35,5 ± 15,6	33,2 / 12,0 ± 18,6
Débranchage ²	45,0 ± 10,3 (28,5 ± 8,7)	3,8 / 33,2 ³ ± 23,5	41,9 ± 13,3 (28,5 ± 7,4)	5,6 / 40,3 ± 24,8
Marche	31,2 ± 5,0	0,9 / 5,7 ± 5,2	36,6 ± 11,5	2,3 / 3,0 ± 3,7
Pause	21,3 ± 11,6	3,1 / 13,4 ± 14,4	21,4 ± 13,9	5,0 / 11,3 ± 9,7
Limage	26,2 ± 7,4	1,2 / 7,1 ± 4,8	30,7 ± 10,5	1,3 / 7,1 ± 4,2
Plein d'essence	27,8 ± 8,7	1,4 / 1,7 ± 1,2	23,7 ± 8,8	3 / 2,5 ± 3,0
Délai opérationnel	22,0 ± 10,4	0,7 / 10,2 ± 11,7	23,0 ± 10,9	1,1 / 12,6 ± 17,9
Délai mécanique	30,6 ± 5,0	0,4 / 6,1 ± 8,1	26,7 ± 5,8	0,6 / 4,1 ± 2,8
Activités propres au produit Myco-Tech ^{MC}				
Tampon	-		35,2 ± 13,6	3,2 / 2,9 ± 2,4
Pression	-		21,9 ± 12,2	4,2 / 2,3 ± 4,1
Plein du produit Myco-Tech ^{MC}	-		27,6 ± 9,8	3,2 / 4,3 ± 2,1

¹ Nombre moyen d'occurrences de l'activité par sujet.

² Les valeurs entre parenthèses correspondent au CCR dépouillé de l'effet de la température, soit le CCR dû au travail mécanique pur.

³ Différence statistiquement significative à $p < 0,05$

Considérant les valeurs de CCR (i.e., sollicitation de la fonction cardiorespiratoire) observées pour l'activité de débranchage, selon la classification proposée l'AIHA (1971) il s'agit d'un travail lourd pour le deux types de traitements et ce, pour au moins 50% des sujets de cette étude (valeur moyennes du Tableau 3 utilisées). Le travail de

débroussaillage (toutes les activités confondues) constitue un travail moyen (près de la limite supérieure de la catégorie "moyen") selon les mêmes critères.

La marche avec l'équipement Myco-Tech^{MC} est légèrement plus exigeante que la marche avec l'équipement conventionnel (différence de 5%, non significative sur le plan statistique) ce qui témoigne vraisemblablement de l'effet du poids accru de l'équipement Myco-Tech^{MC}. Après le débroussaillage (CCR=42,0%) et la marche (CCR=37%), l'activité "tampon" figure parmi les plus exigeantes lors du débroussaillage avec le produit Myco-Tech^{MC} (CCR=35%).

Les périodes travaillées durant le débroussaillage avec le produit Myco-Tech^{MC} ont été un peu plus longues en moyenne de 7 minutes ($Z_{37} = -1,75, p < 0,0401$). Cette différence de temps pourrait s'expliquer par l'économie d'essence générée par une sollicitation moins intensive du moteur de la débroussailleuse pendant que le travailleur badigeonnait les tiges qu'il venait de couper. De façon générale, un débroussailleur s'arrête lorsque le réservoir d'essence de sa débroussailleuse est vide.

3.5.1. Extrapulsations cardiaques thermiques (EPCT)

Le tableau 6 résume les principaux résultats concernant les extrapulsations cardiaques thermiques (EPCT). Sur les 88 périodes de débroussaillage, la moyenne des extrapulsations thermiques est 21 battements par minute (bpm) (écart-type de 12 bpm, plage allant de 0 à 53 bpm). Chaque période de débroussaillage n'était pas nécessairement précédée d'une pause permettant une récupération complète, car plusieurs travailleurs ont pris de très courtes pauses ou ont réalisé une autre activité moins exigeante (ex., limage) entre deux périodes de travail.

Tableau 6: Résultats sur les extrapulsations cardiaques thermiques.

	Débroussaillage conventionnel N=38	Débroussaillage avec produit Myco-Tech ^{MC} N=50
EPCT (bpm)	23 ± 12 (4 à 53)	20 ± 12 (0 à 48)
Estimation de l'augmentation de la température centrale (degrés C) ¹	0,69 ± 0,37	0,61 ± 0,37
Seuil des 20 bpm:	N=16	N=23
Temps moyen avant d'atteindre les 20 bpm (min)	11,6 (0 à 49)	8,7 (0 à 38)
Temps moyen au-delà de 20 bpm (min)	25,5 (3 à 58)	21,8 (2 à 47)
Seuil des 33 bpm:	N=8	N=8
Temps moyen avant d'atteindre les 33 bpm (min)	21,1 (0 à 70)	27,5 (6 à 60)
Temps moyen au-delà de 33 bpm (min)	23,8 (3 à 58)	11,7 (6 à 23)

¹ Température estimée en utilisant l'équation proposées par Martinet et Meyer (1999)

Le seuil des 20 bpm a été dépassé 39 fois (44% des 88 périodes) durant en moyenne 23 minutes (écart-type = 15 min). Dans 23% des cas, ce seuil était déjà atteint lorsque le travailleur a débuté sa période de débroussaillage. Dans les autres cas, il a mis en moyenne moins de 12 minutes avant d'atteindre ce seuil de 20 bpm. Le seuil des 33 bpm a été dépassé 16 fois (18% des périodes) durant en moyenne 18 minutes (plage de 3 à 58 min). Les travailleurs ont débroussaillé durant en moyenne 24 minutes avant d'atteindre ce seuil (plage de 0 à 70 min). Martinet et Meyer (1999) fournissent une relation permettant d'estimer l'augmentation de température centrale à partir des EPCT. En moyenne, l'augmentation estimée est de $0,64^{\circ}\text{C}$ (écart-type de $0,4^{\circ}\text{C}$). L'augmentation maximale est de $1,6^{\circ}\text{C}$ (EPCT = 53 bpm). Considérant une température centrale en ambiance neutre de $36,8^{\circ}\text{C}$, l'estimation de la température maximale atteinte s'élève à $38,4^{\circ}\text{C}$. Moins de 2,5% des périodes de travail (2 cas) ont vu une augmentation supérieure à 38°C (la limite maximale permettant de protéger 95% des travailleurs). La limite maximale de 39°C à ne pas dépasser, n'a jamais été atteinte.

Les résultats des deux types de traitements sylvicoles apparaissent très semblables en ce qui a trait aux EPCT, Les travailleurs effectuant du débroussaillage conventionnel ont eu tendance à travailler un peu plus longtemps avant d'atteindre les seuils de 20 alors que c'est l'inverse pour le seuil des 33 bpm d'EPCT. En débroussaillage conventionnel, ils ont travaillé un peu plus longtemps au-delà de ces seuils. Ces différences doivent être interprétées avec prudence étant donné les petits nombres de périodes associées.

3.5.2. Métabolisme de travail et indice WBGT

Le métabolisme moyen durant le travail de débroussaillage est estimé à 199 W/m^2 avec un écart-type de $60,7\text{ W/m}^2$ ($1,2 \pm 0,4\text{ li O}_2/\text{min}$ ou $347 \pm 116\text{ kcal/h}$). Il s'agit d'un travail à la frontière séparant le travail moyen et lourd (AIHA 1971, RSST 2001). Le coefficient de variation est 33% indiquant que ce travail engendre des sollicitations très variables durant la journée et d'un individu à l'autre.

L'indice WBGT permissible pour chaque période de 1 heure (RSST 2001) a été dépassé à 18 reprises (courbe du travail continu). Le dépassement moyen est de $3,0^{\circ}\text{C}$ avec un écart-type de $1,8^{\circ}\text{C}$. En d'autres termes, le niveau de métabolisme moyen sur chaque heure était tel que le WBGT permissible était en moyenne $3,0^{\circ}\text{C}$ plus bas que le réel. Les dépassements ont été enregistrés à partir de 27° WBGT réel. À onze reprises (13% des 88 périodes de débroussaillage), le WBGT était égal ou supérieur à 31°C .

Sur les 18 cas de dépassement du WBGT, 12 ont aussi été signalés par le critère des 20 bpm d'EPCT. À ces occasions, les EPCT ont varié de 8 bpm à 48 bpm (moyenne de 28 bpm \pm 13 bpm). Par contre, 21 situations signalées par les EPCT dépassant les 20 bpm ne l'ont pas été par le WBGT (Tableau 6). Le fait que le WBGT ne prenne pas en compte l'isolement vestimentaire des débroussaillieurs peut expliquer le manque de sensibilité de cet indice à détecter systématiquement les situations où il y a risque réel d'élévation de la température centrale.

3.6. Productivité

La figure 2 illustre les temps effectifs obtenus pour chaque traitement affecté aux 10 sujets ainsi que la différence de temps effectif entre les deux traitements (en pourcentage). Sur la même figure, la densité d'arbres et arbustes par hectare dont la hauteur était égale ou supérieure à 1 mètre a été représentée pour chacun des deux traitements à l'étude (Myco-Tech^{MC} et conventionnel). Ce facteur a un effet significatif sur la productivité des débroussaillieurs, et par conséquent sur les différences de productivité mesurées. Pour le sujet 2, les deux traitements ont pris sensiblement le même temps. Parmi les facteurs pouvant expliquer ce résultat, il y a la densité du traitement conventionnel qui était près de 3 fois plus élevée que celle du traitement avec le produit Myco-Tech^{MC}. Aussi, le sujet se disait très fatigué et son niveau de forme physique apparaissait déficient (un fumeur).

Le tableau 7 donne quelques mesures de productivité selon le type de traitement sylvicole. Les différences sont statistiquement significatives entre ces deux traitements (voir tableau 7). Elles sont aussi très significatives sur le plan pratique; globalement, le débroussaillage conventionnel est presque deux fois plus rapide, entraîne moins de délais de toutes sortes et donc, résulte en un temps productif à l'hectare plus court.

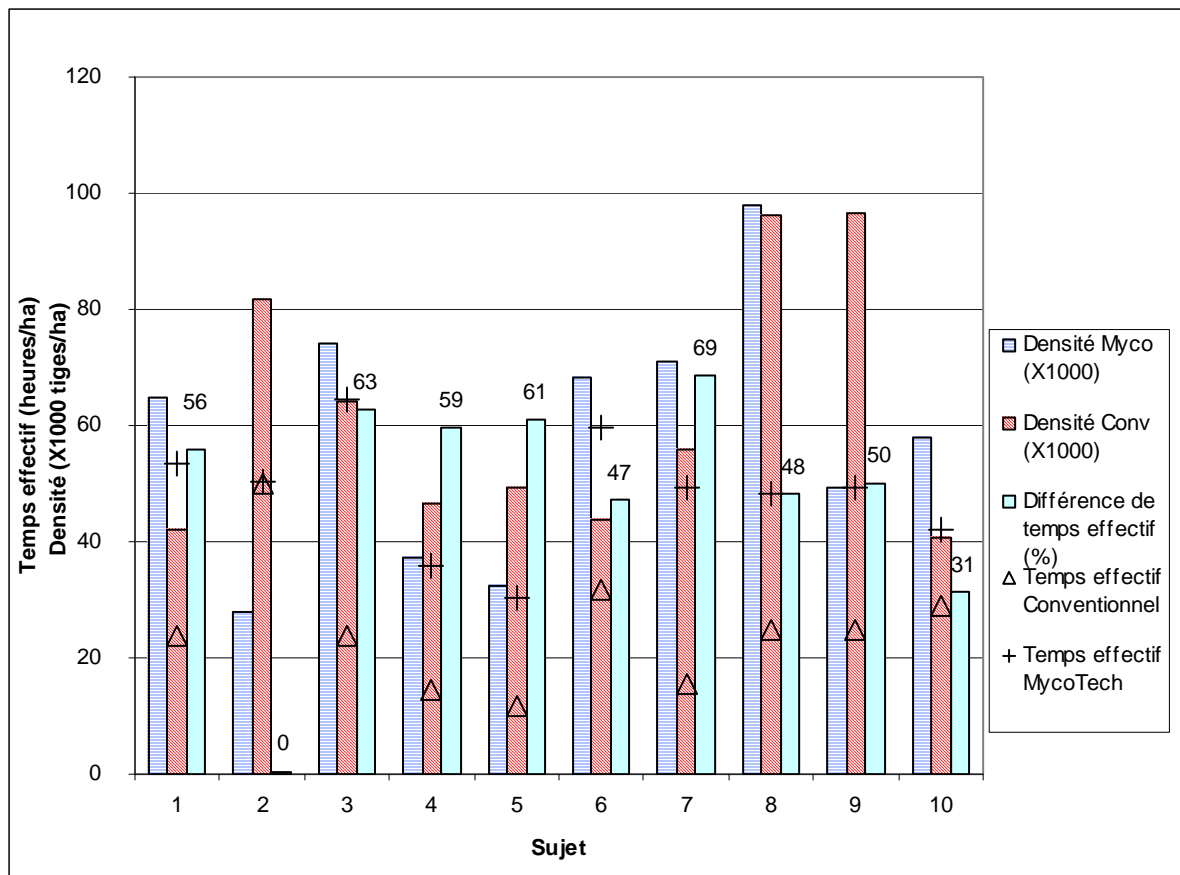


Figure 2: Temps effectif des sujets et densité par unité expérimentale.

La productivité lors du traitement conventionnel de cette étude a été comparée à celle d'une étude de la DRF datant de 2002 qui portait sur 95 débroussailliers conventionnels (Dubeau, données non publiées). Dans l'étude de 2002 les débroussailliers prenaient 22 heures effectives pour traiter un hectare de terrain tandis que les sujets observés dans la présente étude ont pris en moyenne 24,9 heures effectives par hectare. Si on corrige la valeur de la présente étude pour tenir compte des conditions de site, on obtient une productivité corrigée de 21,8 heures effectives par hectare soit une valeur presque identique et parfaitement comparable à celle de l'étude de 2002.

Tableau 7: Mesures de productivité (moyennes et plages indiquées).

	Débroussaillage conventionnel (n=10)	Débroussaillage avec la pâte Myco-Tech ^{MC} (n=10)
Temps total nécessaire pour traiter 1 hectare (h)	32,8 ¹ (13,2 à 65,5)	72,9 (44,3 à 92,9)
Ratio des délais rapportés au temps brut	22,2% ² (9 à 37%)	33,5% (26 à 40%)
Temps effectif à l'hectare (Temps total - délais) (h)	24,9 ³ (11,8 à 50,1)	48,3 (30,4 à 64,4)
Ratio du temps effectif au temps brut	77,8% ⁴ (63 à 91%)	66,5% (60 à 74%)

¹ Différence statistiquement significative ($F_{1,18}=15,0, p<0,0011$)

² Différence statistiquement significative ($F_{1,18}=6,5, p<0,0200$)

³ Différence statistiquement significative ($F_{1,18}=9,5, p<0,0065$)

⁴ Différence statistiquement significative ($F_{1,18}=6,5, p<0,0200$)

3.7. Qualité du traitement

La qualité du débroussaillage est semblable entre les deux traitements sylvicoles: 92,4% de tiges coupées pour le débroussaillage conventionnel et 90,9% pour le débroussaillage avec produit Myco-Tech^{MC} (différence statistiquement non significative à $p<0,05$; plage de 70% à 100%). Par ailleurs, le pourcentages de tiges dont le diamètre est supérieur ou égal à 1 cm qui ont été badigeonnées varie de 26% à 100% avec une moyenne de 70% pour le traitement sylvicole avec produit Myco-Tech^{MC}. Si on pose un seuil de qualité à 80%, il y a 6 des 10 travailleurs qui n'ont pas réalisé un travail d'une qualité suffisante selon les critères établis. Sur le terrain, il a été observé que certains travailleurs oubliaient de badigeonner des groupes de souches, parfois parce qu'elles étaient cachées sous les branches, parfois parce qu'ils oubliaient une section complète. Il se pourrait aussi que les placettes d'échantillonnage aient été trop petites et pas assez nombreuses pour bien mesurer la qualité du badigeonnage.

3.8. Enregistrements vidéo

Le tableau 8 présente les valeurs moyennes de durées et fréquences d'actions et de postures selon le traitement sylvicole. Aucune différence statistiquement significative n'est observée entre les deux traitements, seules des tendances peuvent être observées. Rappelons que ces analyses sont basées sur des séquences vidéo d'une durée moyenne de 21 min. Le débroussaillage avec produit Myco-Tech^{MC} entraîne sensiblement plus de déplacement de la végétation avec la main que dans le cas d'un débroussaillage

conventionnel. Aussi, dans le cas du traitement avec produit Myco-Tech^{MC}, la lame a tendance à rester moins longtemps près du sol et donc à passer plus de temps en hauteur.

Tableau 8: Durées (s) et fréquences moyennes des actions et postures selon le traitement sylvicole.

	Débroussaillage conventionnel (n=10)		Débroussaillage avec le produit Myco-Tech ^{MC} (n=10)	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
Durée des vidéos	1320,0	63,6	1309,8	133,0
Durée (s et % de la durée de la séquence vidéo)				
Dégagement de la végétation avec la main	23,3 (1,8%)	32,7	43,1 (3,3%)	34,1
Position de la lame: Sol-genou	1067,6 (80,9%)	113,2	978,0 (74,7%)	227,6
Position de la lame: Genou-ceinture	99,7 (7,6%)	65,7	183,5 (14,0%)	96,7
Position de la lame: Ceinture-épaule	26,1 (2,0%)	23,0	50,2 (3,8%)	35,0
Prise à 2 mains (sur la débroussailleuse)	994,0 (75,3%)	55,4	1031,1 (78,7%)	141,5
Prise à 1 main (sur la débroussailleuse)	64,5 (4,9%)	58,7	78,0 (6,0%)	48,0
Rester sur place	880,2 (66,7%)	287,8	915,6 (69,9%)	118,6
Position neutre du dos – plan sagittal (flexion < 30°)	924,8 (70,1%)	129,1	933,7 (71,3%)	65,6
Torsion du tronc	233,1 (17,7%)	99,2	324,1 (24,7%)	122,1
Décompte (nbre moyen d'occurrences par séquence)				
Balayement	6,9	4,4	13,7	11,8
Marcher vers l'avant	57,6	49,6	76,7	40,5
Rester sur place	105,9	40,7	110,8	36,7
Pivoter à droite	37,3	10,2	29,0	17,7
Pivoter à gauche	40,0	18,3	27,3	16,7
Prise à 2 mains (sur la débroussailleuse)	22,3	15,4	35,4	15,0
Prise à 1 main (sur la débroussailleuse)	18,1	14,9	51,2	32,7
Position neutre du dos – plan sagittal (flexion < 30°)	253,0	111,1	229,2	110,7
Torsion du tronc	241,0	114,6	210,6	117,7

3.9. Évaluation par les débroussaillieurs

Sur le plan postural, le débroussaillage avec le produit Myco-Tech^{MC} entraîne en moyenne des périodes de torsion du tronc plus longues (324s) que le débroussaillage conventionnel (233s). Il est intéressant de noter que la posture est en constant changement peu importe le type de débroussaillage effectué. Par exemple, on compte en moyenne un retour à la position neutre en ce qui a trait à la flexion du tronc à toutes les 5 s. La durée des position non-neutre en flexion est donc d'une durée moyenne de 2 s. La posture du débroussaillieur est donc marquée de changements fréquents et de courtes durées.

Le tableau 9 présente une synthèse des commentaires formulés individuellement par les débroussaillieurs. Ce tableau dresse une présentation des inconvénients et améliorations possibles à l'équipement et à la façon d'effectuer l'application du produit Myco-Tech^{MC}. Les débroussaillieurs déclarent que le harnais sur lequel repose le bidon du produit Myco-Tech^{MC} provoque certaines contraintes dont notamment la difficulté à l'ajuster et son poids. Le remplissage du bidon semble également problématique notamment en raison de l'hétérogénéité de la composition du produit, c'est-à-dire peu ou très liquide par moment. Le tampon de badigeonnage semble poser des difficultés à quelques niveaux. Soulignons aussi que l'addition de l'activité de badigeonnage à celle de la coupe à la débroussailleuse résulte en un travail jugé comme trop forçant.

4. Discussion

Cette étude a comparé deux traitements sylvicoles, soit le débroussaillage conventionnel et le débroussaillage combiné au badigeonnage avec le produit Myco-Tech^{MC} des tiges coupées. Ce second traitement suppose que le débroussaillieur transporte sur son dos l'équipement nécessaire et ce, au-delà de l'équipement habituel requis pour le débroussaillage conventionnel. L'équipement requis pour badigeonner les tiges ajoute un poids moyen de 8,5 kg aux 12,2 kg que pèse déjà l'équipement habituel requis pour le débroussaillage. L'activité de badigeonnage des tiges implique donc une augmentation moyenne de 70% du poids transporté par le débroussaillieur. L'effet de ce poids additionnel apparaît lors de la marche et se traduit par une augmentation de 5% sur le CCR brut. Le badigeonnage se fait au fur et à mesure de la coupe des tiges; le débroussaillieur doit appliquer le produit au moyen du tampon installé près de la lame de sa débroussailleuse en appuyant celui-ci sur les tiges fraîchement coupées. Les mesurages de coût cardiaque relatif (CCR) montrent que les deux traitements sont très semblables en termes de sollicitation du système cardiorespiratoire durant l'activité de débroussaillage vraisemblablement en raison du rythme de travail moindre (productivité moindre) avec le produit Myco-Tech^{MC}. En effet, malgré qu'il doit porter un poids additionnel, le débroussaillieur se déplace moins vite et coupe moins de tiges par unité de temps parce qu'il doit prendre le temps d'appliquer le produit sur les tiges coupées. Ce résultat demeure vrai lorsqu'on compare les valeurs de CCR tant brut que dépouillé de l'effet de l'ambiance thermique.

Tableau 9: Synthèse des perceptions et commentaires des débroussailleurs quant au produit Myco-tech et à son équipement.

	Inconvénients	Améliorations à fournir
<i>Harnais</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Grande pression sur les épaules - Trop enveloppant, trop chaud, garde chaleur, ceinture trop rembourrée - Difficulté à ajuster pour répartir le poids - Débroussailleuse tire sur épaule opposée 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus d'ajustement pour éviter pression sur épaules - Favoriser l'équilibre des poids
<i>Application du produit</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de temps - Trop lourd - Valve n'ouvre pas assez - Coupe et badigeonnage simultané entraînent contraintes, car tuyau limite le mouvement donc force plus 	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre le produit en spray - Diminuer le temps d'application - Changer d'application du produit - Rapetisser valve pour moins être accrochante - Plus solide par des fibres de métal
<i>Incidence du produit sur la production du débroussailleur</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Remplissage difficile et salissant - Contenant semi-rigide donc risque de coupure - « Pas fort, il faut faire une souche à la fois, ils avaient annoncé spray » - Liquidité irrégulière - « Préfère v2004vapo, car moins encombrant, plus rapide, pas de poids ajouté à scie » 	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre le produit en spray - Contenant avec poignée - Traitement plus payant
<i>Pompe</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Poids - Trop lent - Difficile à traîner 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégrer pompe à réservoir « il faudrait que tout soit en un seul morceau » - Bombonne à air comprimé pour pression constante - Indicateur de pression sur le réservoir - Pompe manuelle - Adaptateur pour charger 12 volts
<i>Tampon</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tampon s'effiloche facilement donc durée de vie courte - Encombrant - Difficile à dévisser, ne durent pas s'échiffe facilement, pâte ne sort pas régulièrement - Pas durable - Pas adapté, perd le tampon, s'effiloche, s'enroule après le pied de la débroussailleuse - « Brise tout le temps » - S'effiloche car pas assez résistant 	<ul style="list-style-type: none"> - Produit en spray - Régulariser la sortie de pâte - Plus solide
<i>Autres</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Poids trop important du réservoir, « trop lourd » 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'une protection du réservoir - Alléger par le spray

Pris dans son ensemble, le travail de débroussaillage utilise un peu plus du tiers de la capacité cardiorespiratoire. Wu et Wang (2002) indiquent qu'un tel niveau de travail peut être maintenu durant un peu plus de 4 heures par jour, en supposant que des pauses d'une dizaine de minutes soient prises à chaque heure. Selon les débroussailleurs ayant participé à cette étude, leur journée de travail dure habituellement un peu plus de 9 heures en moyenne. Le niveau de travail qu'exige le débroussaillage apparaît donc clairement plus élevé que ce qui est normalement recommandé. Même certaines recommandations

moins conservatrices, comme par exemple Rodgers (1986), qui fixe une limite de 33% pour 8 heures de travail, sont dépassées. Astrand et Rodahl (1986) indiquent qu'un niveau de travail plus élevé peut être maintenu lorsque l'individu a une condition physique supérieure. Toutefois, il apparaît selon les résultats des Step-Tests de cette étude et des données de référence de l'Institut Canadien de la recherche sur la condition physique (1988) que ça ne soit pas le cas des travailleurs ayant participé à cette étude. La charge de travail durant le débroussaillage apparaît donc excessive pour eux compte tenu de la durée de la journée de travail.

Il apparaît difficile de proposer un régime d'alternance travail repos simple pour le travail de débroussaillage puisque la charge cardiaque est vraisemblablement fortement influencée par l'isolement vestimentaire et par les paramètres de l'ambiance thermique qui peuvent atteindre des valeurs relativement élevées tel que le montrent nos observations et aussi les dépassements du WBGT. Également, l'intensité du travail varie beaucoup tel que l'indiquent les écart-types du Tableau 5 ainsi que celui donné à la section 3.5.2 pour le métabolisme exprimé en W/m^2 . Le fait que le nombre de sujets soit relativement petit rend une telle proposition d'autant plus difficile. Néanmoins, selon les résultats de cette étude et pour respecter la recommandation de Wu et Wang (2002), il faudrait intercaler l'équivalent de 2 heures 20 minutes de pauses assises additionnelles tout au long de la journée de 9 heures ce qui suppose forcément une réduction équivalente de temps travaillé (débroussaillage ou autres activités). Il est intéressant de noter que cette durée de pause correspond exactement au ratio des délais rapportés au temps brut de traitement pour le débroussaillage conventionnel. Ainsi, il apparaît théoriquement possible de maintenir la même durée de travail de débroussaillage au cours de la journée simplement en remplaçant les différents délais par des pauses assises. Pour y arriver sur le plan pratique, il faudra vraisemblablement améliorer l'équipement en vue d'en réduire davantage le poids (entraînant une réduction de l'effort physique durant le travail) et le rendre plus fiable (délais mécanique), ainsi que réduire certains délais comme le limage en améliorant la technique de travail et/ou les lames, soit un défi de taille pour les manufacturiers.

Les résultats concernant les extrapulsations cardiaques thermiques montrent clairement que les débroussailliers travaillent parfois dans des conditions de contrainte thermique chaude, ces conditions étant le résultat de la combinaison de l'intensité du travail, de l'isolement vestimentaire et des conditions climatiques. Dans 44% des périodes de débroussaillage, la limite de 20 bpm permettant de protéger 95% des travailleurs contre une augmentation de la température centrale supérieure à 1°C, établie par Meyer et al. (2001), a été dépassée. La limite de 33 bpm à laquelle 50% des travailleurs voient généralement leur température centrale augmenter de 1°C (Mairiaux et Malchaire 1990) a été dépassée dans 18% des périodes de débroussaillage. Toutefois, le niveau de température centrale de 38°C a été dépassé dans moins de 2,5% des périodes de travail (2 cas) selon les estimations faites à partir des EPCT (Martinet et Meyer 1999), alors que le niveau maximal atteint a été 38,4°C. La limite maximale de 39°C à ne pas dépasser (ISO 2004), n'a jamais été atteinte.

Meyer et al. (2001) soulignent l'importance des caractéristiques individuelles dans les

phénomènes de tolérance à la chaleur. Par exemple, un individu ayant une capacité cardiovasculaire plus grande devrait avoir une augmentation de la fréquence cardiaque moindre lors du travail à la chaleur qu'un individu ayant une condition physique moins bonne. Martinet et Meyer (1999) proposent une valeur de $VO_{2\max}$ de 40 mlO₂/kgmin comme critère minimal de capacité physique pour le travail à la chaleur. Selon ce critère, 4 des sujets ayant participé à cette étude n'auraient pas les aptitudes physiques nécessaires.

Martinet et Meyer (1999) recommandent de déterminer la durée limite d'exposition (DLE) lors d'un travail à la chaleur en utilisant des expositions graduelles de 10 minutes suivies de repos lors desquels les EPCT sont mesurées. Selon ces auteurs, le travail peut reprendre lorsque la fréquence cardiaque durant la pause est redescendue à la valeur de repos (obtenue avant le début du travail en position assise) plus 10 bpm. Cette approche suppose que le débroussailleur doit arrêter de travailler régulièrement lorsque la température et/ou l'humidité sont élevés pour prendre des pauses durant lesquelles ils évaluent ses EPCT (moyenne de la Fc durant les 3^e, 4^e et 5^e minutes après le début de la pause). Si les EPCT sont inférieures à 20 bpm, alors la durée de la période de travail peut être allongée.

Pour rendre cette approche faisable d'un point de vue pratique, le débroussailleur doit se munir d'un moniteur cardiaque portatif (ex., Polar Electro, Finlande) et apprendre à l'utiliser. Il doit se discipliner à mesurer sa fréquence cardiaque au repos assis le matin en arrivant sur les lieux du travail. Ensuite, il doit se discipliner à prendre des pauses régulières et suffisamment longues pour permettre l'estimation des EPCT, soit au moins 5 minutes. Il doit aussi se discipliner à ne pas recommencer à travailler tant que la fréquence cardiaque n'est pas redescendue à la valeur de repos plus 10 bpm. Nul doute que cette approche exigera de la formation et des ressources pour être implantée et utilisée efficacement. Par contre, elle apparaît comme la plus simple pour les débroussailleurs eux-mêmes puisqu'elle suppose le suivi d'un paramètre unique (la Fc) au moyen d'un dispositif totalement portatif, miniature, léger et peu coûteux (un moniteur de Fc). Il ne fait aucun doute qu'une telle approche permettrait de protéger les travailleurs, en particulier en début de saison lorsque ceux-ci sont souvent déconditionnés.

Une autre façon d'inciter les débroussailleurs à se reposer plus souvent pourrait être de réduire la taille du réservoir d'essence afin de réduire la durée de travail ininterrompue puisque les travailleurs prennent systématiquement une pause quand le réservoir d'essence est vide. Le réservoir doit tout de même avoir une taille qui permette de réaliser une quantité de travail satisfaisante pour éviter que le débroussailleur ait l'impression de toujours être arrêté. Ainsi, si la dimension du réservoir était limitée de façon à rencontrer la durée moyenne des périodes de débroussaillage (33 minutes de travail en continu pour le débroussaillage conventionnel – voir Tableau 5), alors selon les données de Wu et Wang (2002), le CCR brut maximal acceptable durant ces 33 minutes serait de 47,5%. Cette valeur peut être maintenue par 95% des travailleurs durant quelque 35 minutes sans risques de fatigue excessive. Un travailleur qui connaît sa Fc repos peut rapidement faire le calcul à partir de son âge pour déterminer une valeur de Fc —correspondant à un CCR de 48%— à ne pas dépasser durant le débroussaillage. Si sa Fc est plus élevée, alors il

doit travailler moins longtemps que les 35 minutes. Dans les cas où la chaleur corporelle risque de s'accumuler (EPCT élevées dues aux conditions climatiques ou à l'habillement, par exemple), le rythme de travail devra être ralenti pour que le CCR demeure constant à 48%, de sorte que le réservoir durera plus longtemps que les 35 minutes proposées ici. Par ailleurs, les individus ayant une capacité cardiorespiratoire nettement supérieure à la valeur devant accommoder 95% des travailleurs, risquent fortement d'être frustrés de devoir s'arrêter par manque d'essence alors qu'ils ont la capacité de continuer sans risques, d'autant plus que les débroussailliers sont payés au rendement. L'auto-surveillance de sa propre Fc par un travailleur semble être une approche plus réaliste que la réduction du réservoir d'essence.

Bien que le traitement avec le produit Myco-Tech^{MC} exige un niveau d'effort physique semblable à celui du débroussaillage conventionnel, il exige presque deux fois plus de temps pour le débroussaillage d'une même surface. Comme les débroussailliers sont payés à la surface dégagée, ils ne seront pas incités à l'utiliser à moins que les taux de rémunération à l'hectare soient révisés à la hausse. L'exercice d'une telle révision apparaît dépendre du niveau de qualité du badigeonnage lequel a été sous les 80% dans 60% des cas. Ce critère de 80% ne prend pas en compte les tiges dont le diamètre est inférieur à 1 cm, lesquelles ont de fortes chances de produire une repousse qu'il faudra dégager éventuellement.

Enfin, en ce qui a trait à l'équipement Myco-Tech^{MC} lui-même, il semble que le harnais, le système de pompe, le tampon et la viscosité du produit aient besoin d'améliorations additionnelles selon les débroussailliers ayant participé à cette étude. La taille du réservoir du produit pourrait être ajustée de façon à correspondre à la durée d'un plein d'essence de la débroussailleuse. Cet ajustement s'avère difficile à cause de la variabilité du nombre de tiges à couper et badigeonner par unité de surface. Dans les conditions observées, la quantité de pâte était trop grande pour un plein d'essence, donc le travailleur était chargé inutilement.

4.1. Portée et limites de cette étude

Il apparaît important de rappeler que cette étude avait pour but de comparer l'astreinte cardiaque du dégagement avec application du produit Myco-Tech^{MC}, un nouveau traitement sylvicole, à celle du dégagement conventionnel. Dans le cas où il aurait été trouvé que le nouveau traitement est plus exigeant, il aurait fallu proposer un régime d'alternance travail-repos permettant de réduire la fatigue. L'étude avait aussi pour but de déterminer si des améliorations aux équipements de première génération testés sur le terrain dans cette étude sont nécessaires, ou si l'équipement est adéquat tel quel. Nos résultats répondent amplement à ces objectifs.

L'étude n'avait pas pour objectif de formuler des recommandations précises sur la façon d'améliorer l'équipement puisqu'on ne saura pas avant 2008 si le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MNR) du Québec retiendra ce nouveau traitement sylvicole. En effet, suite à la première collecte de données en 2003 ayant donné lieu à la présente étude, le MNR aura réalisé 4 mesurages (soit un par an, le dernier étant prévu à

l'automne 2007) afin d'évaluer l'efficacité biologique du produit. Dans le cas où le MNRF choisit de retenir ce nouveau traitement, nos résultats montrent que l'entreprise produisant la pâte Myco-Tech^{MC} devra apporter des améliorations aux différentes composantes de l'équipement nécessaire au stockage et à l'épandage de la pâte. Une telle re-conception dépassait le cadre de la présente étude et était inutile à cette étape du développement de ce nouveau produit.

5. Conclusion

Cette étude a comparé deux traitements sylvicoles, soit le débroussaillage conventionnel et le débroussaillage combiné au badigeonnage avec le produit Myco-Tech^{MC} des tiges coupées. Dans les deux cas, le niveau de sollicitation cardiorespiratoire chez nos sujets montre qu'il s'agit d'un travail moyen à lourd. Il apparaît donc difficile d'augmenter le niveau de sollicitation. Les résultats de la comparaison entre les deux méthodes montre que le débroussaillage avec le produit Myco-Tech^{MC} coûterait cher à implanter. En effet, le débroussaillage d'un hectare avec le produit Myco-Tech^{MC} prend en moyenne deux fois plus de temps que le dégagement conventionnel, en plus du coût initial relativement élevé du produit. De plus, les critères de qualité prescrits pour ce traitement n'étaient pas atteints par six des dix sujets de l'étude, ce qui risque de limiter l'effet positif du produit sur la repousse végétale.

Par contre, les résultats montrent que du point de vue de la charge de travail physique, les deux traitements sont semblables. Le transport de l'équipement additionnel nécessaire au badigeonnage semble entraîner un effort plus important lors de la marche, bien que la différence ne soit pas statistiquement significative. Les deux traitements sylvicoles ont entraîné des augmentations de la fréquence cardiaque jugées non sécuritaires. Il apparaît qu'un monitoring de la fréquence cardiaque par le débroussaillieur lui-même soit l'approche la plus sûre pour permettre aux débroussaillieurs de travailler en toute sécurité.

6. Bibliographie

- American Industrial Hygiene Association (AIHA) (1971). *Ergonomic guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work*. Akron, OH: AIHA.
- ARLA (2002). Projet de décision réglementaire PRDD2002-01: *Chondrostereum purpureum* (HQ1). Santé Canada, 34 p.
- Åstrand, P.O. et M. Rodahl, 1986. *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill, New York.
- Chengalur, S.N., Rodgers, S.H., and Bernard, T.E. (2004). *Kodak's Ergonomics Design for People at Work*, 2nd Edition, Hoboken, NJ: Wiley.
- Chiasson, M-E. 2004. Évaluation de la charge de travail des débroussaillieurs, Rapport de maîtrise, Ecole Polytechnique de Montréal, 83p.
- De Jong, M.D., Sela, E., Shamoun, S.F. et Wall, R.E. 1996. Natural occurrence of *Chondrostereum purpureum* in relation to its use as a biological control agent in Canadian forests. *Biological Control*, 6, 347-352.

- Dumas, M. T., Wood, J.E., Mitchell, E.G. et Boyonoski, N.W. 1997. Control of Stump Sprouting of *Populus tremuloides* et *P. grandidentata* by Inoculation with *Chondrostereum purpureum*. *Biological Control*, 10, 37-41.
- Éditeur officiel du Québec (2001). *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* (disponible sur le site web de la CSST).
- Gosselin, L., Jobidon, R. et Bernier, L. 1999. Biological control of stump sprouting of broadleaf species in rights-of-way with *Chondrostereum purpureum* : incidence of the disease on nontarget hosts. *Biological Control*, 16, 60-67.
- Hébert, F., Cloutier, E., Gervais, M., Granger, D., Levy, M., Massicotte, P. (2000). Les accidents de travail en forêt : analyse de scénarios d'accidents entre le 1^{er} juin 1997 et le 31 mai 1998. Montréal, IRSST (Études et recherches: R-245). Rapport de recherche. 55 p.
- Holbein, M.A. et Chaffin, D.B. (1997). Stability limits in extreme postures: effects of load positioning, foot placement, and strength, *Human Factors*, 39, 3, 456-468.
- Institut Canadien de la recherche sur la condition physique et le mode de vie. (1988). Données de l'enquête Campbell sur la condition physique et l'anthropométrie (tableaux). Canada, 6 p. (http://www.cflri.ca/icrcp/ressources/pub_f.php).
- Organisation internationale de normalisation (ISO)(2004). Ergonomie - Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques. - ISO 9886. Genève.
- Organisation internationale de normalisation (ISO)(1995). Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire. ISO 9920. Norme internationale. Genève, Suisse.
- Jobidon, R. 1998. Comparative efficacy of biological and chemical control of the vegetative reproduction in *Betula papyrifera* and *Prunus pensylvanica*. *Biological Control* 11, 22-28.
- Jobidon, R. et Charette, L. 1997. Effet, après 10 ans, du dégagement manuel simple ou répété et de la période de coupe de la végétation de compétition sur la croissance de l'épinette noire en plantation. *Can. J. For. Res.* 27(12), 1979-1991.
- Jobidon, Robert (1992). "Measurement of light transmission in young conifer plantations: A new technique for assessing herbicide efficacy." *Northern Journal of Applied Forestry* 9(3): 112-115.
- Mairiaux, P. et Malchaire, J. (1990). Le travail en ambiance chaude – Principes, méthodes, mise en oeuvre. Paris: Masson.
- Malchaire, J. 1988. Méthodologie générale d'interprétation des enregistrements continus de fréquence cardiaque aux postes de travail. *Cahiers de médecine du travail*, 25(4), 181-186.
- Martinet, C. et Meyer, J.-P. (1999). Travail à la chaleur et confort thermique. Note scientifique et technique (NS 184). INRS, France, 61p.
- Mead, R. (1990). Multiple blocking systems and cross-over designs : cross-over designs - time as a blocking factor. *The design of experiments : statistical principles for*

- practical application, Cambridge University Press: p. 197-213 (620 p.).
- Meyer, J.-P. et Flenghi, D. (1995). Détermination de la dépense énergétique de travail et des capacités cardio-respiratoires maximales à l'aide d'un exercice sous-maximal sur step-test, Documents pour le Médecin du travail, No 64, 4^e trimestre. France: INRS.
- Meyer, J.-P., Martinet, C., Payot, L., Didry, G., Horwat, F. (2001). Évaluation de l'astreinte thermique à l'aide de la fréquence cardiaque. *Travail Humain*, 64(1), 29-43.
- Mital, A. et Shell, R. L. (1986). Determination of rest allowances for repetitive physical activities that continue for extended hours. Dans Richard Shell (Éd.) *Work Measurement - Principles and Practices* (pp. 133 à 141). Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia.
- Parent, B. 2000 Ressources et industries forestières – Portrait statistique, édition 2000. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, 64 p.
- Pitt, D. G., Thompson, D. G., Payne, N. J. et Kettela, E. G. 1993. Response of woody eastern Canadian forest weeds to fall foliar treatments of glyphosate and triclopyr herbicides. *Can. J. For. Res.* 23, 2490-2498.
- Pitt, D. G., Dumas, M.T., Wall, R.E., Thompson, D.G., Lanteigne, L., Hintz, W., Sampson, G. et Wagner, R. G. 1999. *Chondrostereum purpureum* as a biological control agent in forest vegetation management. I. Efficacy on speckled alder, red maple, and aspen in eastern Canada. *Can. J. For. Res.*, 29(7), 841-851.
- Reneau, P.D. et Bishop, P. A. (1996). A review of the suggested Wet Bulb Globe Temperature adjustment for encapsulating protective clothing. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 57, 58-61.
- Roberts, D. (2002). In-season physiological and biochemical status of reforestation workers. *Journal of occupational and environmental medicine (JOEM)* 44(6): 559-567.
- Rodgers, S.H. 1986. *Ergonomics Design for People at Work – Volume 2*. New-York: Van Nostrand Reinhold.
- Rohmert, W. 1973. Problems in determining rest allowances. Part 1. *Applied Ergonomics*, 4, 91-95.
- Samset, Ivar (1990). Some observations on time and performance studies in forestry, Norwegian Forest Research Institute. **43**: 80 p.
- Santé Canada. 2003. Lignes directrices canadiennes pour la classification du poids chez les adultes. Ministère des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada, 2003. (http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/weights-poids/guide-ld-adult/bmi_chart_java-graph_imc_java_f.html). Lien actif le 1^{er} juin 2006.
- Tecult. 2001. Essai opérationnel de la technologie MYCO-TECH^{MC} pour le dégagement de la régénération forestière, Étude de temps et mouvements, octobre 2001, 31 p.
- Vogt, J.J., Meyer-Schwartz, M. Th., Metz, B. et Foehr, R. (1973). Motor, Thermal and Sensory Factors in Heart Rate Variation: A methodology for indirect estimation of intermittent muscular work and environmental heat loads. *Ergonomics*, 16 (1), 45-60.

- Wagner, R. G. 1993. Research directions to advance forest vegetation management in North America. *Can. J. For. Res.* 23, 2317-2327.
- Wall, R. E. 1991. Pathological effects of *Chondrostereum purpureum* in inoculated yellow birch and beech. *Can. J. Plant Pathol.* 13: 81-87.
- Wall, R. E. 1994. Biological control of red alder using stem treatments with the fungus *Chondrostereum purpureum*. *Can. J. For. Res.* 24: 1527-1530.
- Wall, R. E. 1997. Fructification of *Chondrostereum purpureum* on hardwoods inoculated for biological control. *Can. J. Plant Path.* 19: 181-184.
- Wu, HC et Wang, MJ. J. 2002. Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics*, 45, 4, 280-289.