



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Evaluation de l'exposition aux vibrations et au bruit des chauffeurs de quatre engins de Préparation Mécanisée du Site avant plantation

Catherine Collet, Lindsay Godard, Nancy Mendow, Nina Bonche, Malaurie Puyal,
Jean-Pascal Franco

Octobre 2024

INRAE



Ce travail a été réalisé dans le cadre des projets

- **FOREST FOR GOOD**
- **RENFOR**

Il a été réalisé avec le soutien financier de :

- **Groupe AXA, avec la contribution d'AXA IM**
- **Ministère en charge des forêts**

Affiliation des auteurs :

- Catherine Collet, Pôle RENFOR, UMR Silva, INRAE, 54 280 Champenoux , catherine.collet@inrae.fr
- Lindsay Godard, Pôle RENFOR, UMR Silva, INRAE, 54 280 Champenoux
- Nancy Mendow, Pôle RFT, Institut Technologique FCBA, 21 170 Charrey Sur Saône
- Nina Bonche, Pôle RFT, Institut Technologique FCBA, 21 170 Charrey Sur Saône
- Malaurie Puyal, Département Recherche, Développement et innovation, ONF, 60200 Compiègne
- Jean-Pascal Franco, Pôle RENFOR, Département Recherche, Développement et innovation, ONF, 54 280 Champenoux

Pour citer ce document :

Collet C., Godard L., Mendow N., Bonche, N., Puyal M., Franco J.P. 2024. Evaluation de l'exposition aux vibrations et au bruit des chauffeurs de quatre engins de Préparation Mécanisée du Site avant plantation. Rapport Interne, RENFOR, INRAE-ONF-AgroParisTech, 12 p.

Introduction

La plantation forestière est un outil majeur d'adaptation des forêts au changement climatique, car elle permet d'effectuer le renouvellement forestier dans toutes les situations où la régénération naturelle ne permet pas de reconstituer un peuplement forestier répondant aux objectifs de gestion du propriétaire.

Dans les chantiers de plantation, la préparation mécanisée du site (PMS) avant plantation est actuellement largement pratiquée, pour favoriser la bonne reprise des plants dans l'année qui suit la plantation, et ainsi permettre le succès de l'opération. La PMS a pour objectif principal de réduire le développement de la végétation spontanée qui entre en compétition avec les jeunes plants, notamment pour l'eau du sol, et limite leur installation. Une large gamme d'engins, qui combinent différents types de porte-outils (pelles mécaniques, tracteurs, outils autoportés) et différents outils (râteaux, dents, marteaux, ...) est couramment utilisée dans la pratique. Ces engins présentent des performances techniques (type de préparation réalisée), économiques (coûts de l'intervention), environnementales (impacts sur les sols et sur la biodiversité) et sociales (perception par le public, ergonomie pour le chauffeur) qui diffèrent fortement selon les engins.

Cette étude est incluse dans un projet plus large visant à analyser les performances multiples de différents outils de PMS testés dans un même site de plantation. La présente étude se focalise sur les performances ergonomiques du poste de conduite des engins. Elle comporte une évaluation de l'exposition aux vibrations au niveau du corps entier et une estimation de l'exposition au bruit, ainsi qu'un court questionnaire proposé aux chauffeurs à l'issue des mesures. L'étude de l'ergonomie du poste de conduite est complétée par une deuxième étude qui analyse la posture des chauffeurs dans le poste de conduite et par une description détaillée des engins testés (Puyal 2024a, 2024b, Godard 2024).

Matériel et méthodes

Site d'étude

Le site d'étude se situe en Meuse (coordonnées arrondies : Latitude 49°31'N, Longitude 05°12'E, altitude : 270 m), sur plateau calcaire. Le sol est de type rendosol (référentiel pédologique AFES 2008), constitué d'un horizon argilo limoneux peu profond (5 à 40 cm) sur un substrat de roche carbonatée. La pente est modérée sur l'ensemble du dispositif (6% maximum.) Le peuplement précédent était un peuplement d'épicéas, touché par les scolytes et récolté en intégralité en 2018.

Préparations du site

Quatre outils de préparation mécanisée du site (Tableaux 1 et 2) ont été suivis :

- SSMF : Sous-Soleur Multifonction® monté sur une midi-pelle
- CF : Culti Forest® monté sur une midi-pelle
- SS : sous-soleur tracté
- BROU : broyeur monté sur un automoteur sur chenilles.

Tableau 1 : Caractéristiques des machines et du suivi réalisé.

| | SSMF | CF | SST | BROY |
|--------------------------------------|----------------------|---|------------------|-----------------|
| Préparation réalisée | | | | |
| Type | Potets individuels | Potets individuels ou placeaux collectifs | Lignes | Bandes |
| Dates | 10-11/11/2024 | 10-11/11/2024 | 10-11/11/2024 | 13/12/2024 |
| Machine | | | | |
| Type | Pelle | | Tracteur | Automoteur |
| Masse (kg) | 8 440 | | 8 000 | 9 500 |
| Puissance moteur (ch) | 63,2 | | 230 | 264 |
| Système de roulement | Chenilles caoutchouc | | Roues caoutchouc | Chenilles métal |
| Usure roulement | Neuf | | Usé | Neuf |
| Cabine | | | | |
| Suspension du siège | Suspendu | | Pneumatique | Pneumatique |
| Portes et fenêtres | Fermées | | Fermées | Fermées |
| Chauffeur | | | | |
| Nom | A | | B | C |
| Outils | | | | |
| Type | Porté | Porté | Tracté | Porté |
| Masse (kg) | 150 | 250 | 1 000 | 1 300 |
| Durée du suivi des vibrations | | | | |
| Durée totale | 4h 48mn | 7h 34 mn | 1h 29mn | 3h 10mn |
| Durée analysée | 4h 26mn | 7h 7mn | 1h 23 mn | 2h 26mn |
| Durée du suivi du bruit | | | | |
| Durée totale | 4h 33mn | 2h 49mn | / | / |
| Durée analysée | 4h 12mn | 2h 43mn | / | / |

Les préparations ont été réalisées en vue de différents schémas de plantation :

- *Plantation en ligne.* Les lignes étaient espacées de 2,5 m. La machine s'est déplacée sur la ligne de plantation préalablement broyée, en tractant l'outil de sous-solage. Sauf blocage de l'outil, la machine n'a pas marqué d'arrêt.
- *Plantation en potets individuels, contenant un seul plant.* Les potets ont été préparés le long des lignes de plantation, espacées de 2,5 m. Sur la ligne, les centres des potets étaient espacés de 1,9 m. La surface au sol de chaque potet était d'environ 1 m². La machine a progressé sur un cloisonnement préalablement broyé, entre deux lignes de plantation. Elle s'est arrêtée pour réaliser les potets, qui étaient créés à droite et à gauche de la machine sur les lignes de part et d'autre du cloisonnement. La réalisation d'un potet consiste à décaper la surface du sol avec la rappe de l'outil puis à travailler le sol avec la dent. Une fois les deux potets réalisés, la machine se déplace jusqu'au couple de potets suivant.
- *Plantation en placeaux collectifs, contenant 16 plants.* Des placeaux de 5 m x 5 m, espacés de 5 m, ont été réalisés. Entre deux placeaux successifs, la machine a progressé sur les cloisonnements préalablement broyés. Elle s'est arrêtée pour réaliser un placeau, alternativement à droite et à gauche du cloisonnement. La réalisation d'un placeau consiste à décaper la surface du sol avec la rappe de l'outil sur l'entièreté du placeau puis à travailler le sol avec la dent. Une fois le placeau réalisé, la machine se déplace jusqu'au placeau suivant.

Tableau 2 : Vues des machines testées

| Machine à l'arrêt | Outil | Machine en action | Préparation réalisée |
|---|---|--|---|
| SSMF | | | |
|  |  |  |  |
| CF | | | |
|  |  |  |  |
| SST | | | |
|  |  |  |  |
| BROY | | | |
|  |  |  |  |

Excepté pour l'outil BROY, les cloisonnements et les lignes sur lesquels les machines se sont déplacées avaient été broyés la semaine précédant le passage des outils, pour faciliter la progression des machines et assurer une bonne visibilité du sol à préparer. Toutes les préparations ont été effectuées en Novembre 2023. Tous les outils ont travaillé dans des conditions de sol réessuyé.

La préparation réalisée différait selon les outils :

- SSMF : Préparation en potets individuels.
- CF : Deux préparations différentes, potets individuels ou placeaux collectifs, ont été réalisées sur deux placettes. Les estimations de l'exposition aux vibrations dans les deux préparations s'étant révélées très proches, les deux types de préparation ont été fusionnés et n'ont plus été distingués dans la suite de l'analyse.
- SS : Préparation en ligne.

- BROY : La végétation en place a été broyée sur des bandes de 2m de large. La machine s'est déplacée dans la végétation non broyée, et a marqué des nombreux arrêts lors du passage de l'outil sur les souches des arbres du peuplement précédent, qui devaient être arasées.

Mesures

Caractérisation des machines

Les caractéristiques des machines (porte outils et outils) sont détaillées dans (Puyal 2024a, Godard 2024) et sont synthétisées dans le tableau 1. La préparation des modalités SSMF et CF ont été effectuées avec la même pelle, conduite par le même chauffeur. Seuls l'outil et sa mise en œuvre différaient.

Mesures des vibrations et du bruit

Les mesures de vibrations ont été effectuées lors du passage de chaque outil, à l'aide d'un dosimètre de vibrations HealthVib® WBV500, positionné sur le siège du conducteur. Il évalue les vibrations transmises à l'ensemble du corps du chauffeur.

Les mesures de son ont été effectuées lors du passage des outils SSMF et CF uniquement, à l'aide d'un dosimètre de niveau sonore CESVA® DC-112d, dont le microphone a été positionné à 10 cm de l'oreille du chauffeur.

Pour chaque outil, les mesures ont été effectuées sur une durée minimale de 1 heure et sur une surface minimale de 1 ha, de façon à prendre en compte l'ensemble des actions effectuées par l'outil une fois la machine en position sur sa première ligne de travail (déplacement de la machine, travail du sol, déblayage, ...). Seules les phases de préparation effective ont été analysées. Les phases d'approche de la zone préparée, de retour au porte char, et d'arrêt du travail n'ont pas été intégrées.

Analyse des données

Le jeu de données a tout d'abord été purgé de toutes les phases d'arrêt de la machine et seules les phases de travail effectif ont été conservées.

Exposition aux vibrations

L'estimation de l'exposition aux vibrations a suivi les recommandations de Griffin et al. (2008) et Falco (2011).

Le dosimètre de vibrations estime la valeur efficace de l'accélération « pondérées en fréquence » subie dans les trois directions x (avant-arrière), y (droite-gauche) et z (haut-bas), selon un pas de temps de 1 seconde ($a_{wx}(t)$, $a_{wy}(t)$, $a_{wz}(t)$, exprimée en $m\ s^{-2}$).

Pour estimer l'exposition quotidienne, nous avons fixé la durée de la journée de travail nominale à 8 heures et nous avons considéré différentes durées d'utilisation quotidienne de l'outil, variant de 0 à 8 heures. Pour chaque outil, l'exposition quotidienne dans chaque direction a été calculée comme la moyenne quadratique des accélérations efficaces sur la durée d'exposition considérée, selon :

$$A_i(8) = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^n a_{wi}(t)^2} \times \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_{jour}}}$$

où :

- i est la direction (x, y, z)
- $a_{wi}(t)$ est l'accélération efficace dans la direction i mesurée à l'instant t sur 1 seconde, exprimée en $m\ s^{-2}$
- n est le nombre de mesures effectuées (chacune d'une durée de 1s)
- T_{exp} est la durée d'utilisation quotidienne de l'outil, exprimée en s
- T_{jour} est la durée de travail journalière de référence (8 heures), exprimée en s

Les expositions quotidiennes dans chaque direction ont été pondérées par les facteurs $w_d=1,4$ (pour a_{wx} et a_{wy}) et $w_k=1$ (pour a_{wz}), qui reflètent la sensibilité du corps aux vibrations dans les différentes directions.

L'exposition quotidienne aux vibrations a ensuite été calculée comme la valeur maximale des expositions quotidiennes pondérées dans chaque direction, selon :

$$A(8) = \max(w_d A_x(8), w_d A_y(8), w_k A_z(8))$$

Les expositions quotidiennes estimées sur les différents outils ont été comparées à des valeurs fixées par le Code du travail (articles R.4441-1 à R.4447-1), de deux types :

- La valeur d'action (VA) qui, si elle est dépassée, impose la mise en œuvre de mesures techniques et organisationnelles afin de réduire au minimum l'exposition. Cette valeur d'action est fixée à $0,5\ m\ s^{-2}$.
- La valeur limite d'exposition (VLE) qui ne doit jamais être dépassée, fixée à $1,15\ m\ s^{-2}$.

Pour comparer les machines entre elles, nous avons tout d'abord évalué l'exposition correspondant à une durée quotidienne de travail effectif dans la machine de 6h, puis nous avons comparé les courbes d'exposition en fonction de la durée quotidienne d'utilisation des machines.

Exposition au bruit

L'estimation de l'exposition au bruit a suivi les recommandations de Thiéry et Canetto (2009).

Le dosimètre de niveau sonore estime, selon un pas de temps de 1 seconde, le niveau de pression sonore continu équivalent, avec deux pondérations fréquentielles différentes (pondération A qui reflète la sensibilité moyenne de l'oreille humaine pour les bruits courants, et pondération C qui reflète la sensibilité aux niveaux de bruits élevés) : $L_{p,A,eqT}$ et $L_{p,C,eqT}$, exprimés en dB (A) et en dB (C), respectivement. Le dosimètre estime également à chaque pas de temps de 1 s, la pression acoustique de crête, qui est la valeur maximale des niveaux de pression sonore instantanée avec la pondération C : $L_{p,C,peak}$, exprimée en dB (C).

L'exposition au bruit a été évaluée à partir de deux paramètres, le niveau d'exposition quotidienne au bruit, définie comme la moyenne pondérée dans le temps des niveaux d'exposition au bruit pour une journée de travail nominale de huit heures, et le niveau de pression acoustique de crête définie comme le niveau de la valeur maximale de la pression acoustique instantanée mesurée avec la pondération fréquentielle C.

Pour estimer niveau d'exposition quotidienne, nous avons considéré différentes durées d'utilisation quotidienne de l'outil, variant de 0 à 8 heures. Pour chaque pas de temps de 1

seconde, l'exposition quotidienne, qui représente le niveau de bruit équivalent perçu durant une journée de 8 heures, a été calculée selon :

$$L_{EX,8}(t) = L_{p,A,eqT}(t) + 10 \times \log_{10} \frac{T_{mesure}}{T_{jour}}$$

où :

- $L_{p,A,eqT}(t)$ est le niveau de pression sonore continu équivalent mesuré à l'instant t sur 1 seconde avec la pondération A, exprimée en dB (A)
- T_{mesure} est le pas de temps des mesures (1 seconde), exprimé en heures
- T_{jour} est la durée de travail journalière de référence (8 heures), exprimée en heures

Pour chaque outil, l'exposition moyenne quotidienne au bruit a ensuite été calculée en combinant l'ensemble des $L_{EX,8,t}$ estimées pour chaque pas de temps de 1 s, et en considérant la durée d'utilisation quotidienne de l'outil, selon :

$$L_{EX,8} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{T_{exp}}{n \times T_{mesure}} \times \sum_{t=1}^n 10^{\frac{L_{EX,8}(t)}{10}} \right]$$

où:

- $L_{EX,8}(t)$ est le niveau d'exposition quotidienne estimée à l'instant t sur 1 s, exprimée en dB (A)
- n est le nombre de mesures effectuées (chacune d'une durée de 1 s)
- T_{mesure} est le pas de temps des mesures (1 s), exprimé en heures
- T_{exp} est la durée d'utilisation quotidienne de l'outil, exprimée en heures

Le niveau de crête de chaque outil a été calculée comme le maximum des valeurs de $L_{p,C,peak}(t)$ enregistrées à chaque pas de temps pendant la durée de mesure. Cette variable est indépendante de la durée d'utilisation quotidienne de l'outil et s'exprime de façon absolue et non relative à une journée de travail nominale.

Les valeurs d'exposition moyenne quotidienne et de niveau de crête estimées pour chaque outil ont ensuite été comparées à aux valeurs seuils fixées par le Code du travail (articles R.4431-1, R.4431-2, R.4434-7, R.4435-1, R.4435-2, R.4436.1) :

- La valeur d'action d'exposition inférieure déclenchant l'action de prévention (VAI) qui, si elle est dépassée, impose la mise à disposition des opérateurs de protecteurs auditifs individuels et la possibilité d'examen audiométriques préventifs. Cette valeur d'action est fixée à 80 dB (A) pour $L_{EX,8}$ et 135 dB (C) pour $L_{p,C,peak}$.
- La valeur d'action d'exposition supérieure déclenchant l'action de prévention (VAS) qui, si elle est dépassée, impose la mise en œuvre d'un programme de mesures de réduction de l'exposition au bruit, l'utilisation de protecteurs auditifs individuels, et la mise en place après avis du médecin du travail, d'un suivi individuel renforcé. Cette valeur d'action est fixée à 85 dB (A) pour $L_{EX,8}$ et 137 dB (C) pour $L_{p,C,peak}$.
- La valeur limite d'exposition (VLE) qui impose l'adoption immédiate de mesures de réduction du bruit, fixée à 87 dB (A) pour $L_{EX,8}$ et 140 dB (C) pour $L_{p,C,peak}$.

Pour comparer les machines entre elles, nous avons tout d'abord évalué l'exposition correspondant à une durée quotidienne de travail effectif dans la machine de 6h, puis nous avons comparé les courbes d'exposition quotidienne en fonction de la durée quotidienne d'utilisation des outils.

Questionnaire

Pour compléter les mesures, un court questionnaire a été adressé à chaque chauffeur à l'issue du travail, pour qualifier leur ressenti du confort du poste de conduite de la machine.

1. Comment jugez-vous le niveau de vibration ? (4 réponses possibles : Très bon, Bon, Moyen, Insuffisant)
2. Comment jugez-vous le niveau d'insonorisation de la cabine ? (4 réponses possibles : Très bon, Bon, Moyen, Insuffisant)
3. Le bruit vous dérange-t-il à certains moments ? (2 réponses possibles : Oui, Non)
4. Votre ressenti diffère-t-il selon les outils ? (Question posée uniquement au chauffeur des outils SSMF et CF)

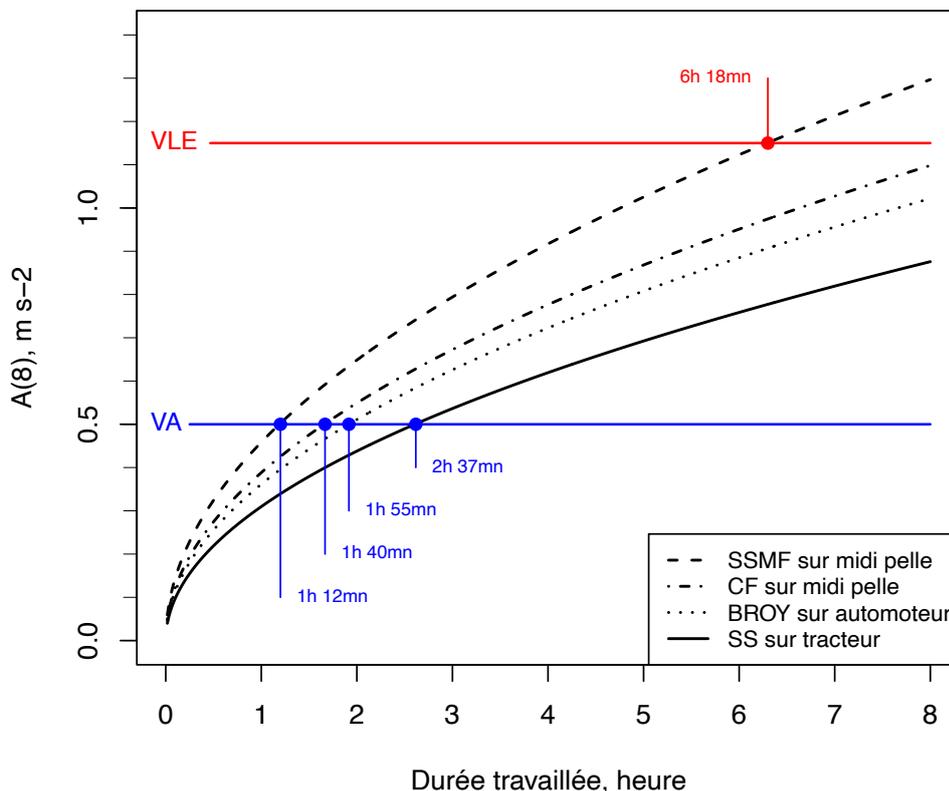
Les questions pouvaient être complétées par des commentaires libres.

Le ressenti des chauffeurs vient en appui aux mesures quantitatives, en ce sens qu'il peut confirmer les conclusions issues des mesures ou, à l'inverse, soulever des points problématiques qui n'auraient pas été mis en évidence par les mesures. Néanmoins, le ressenti des chauffeurs est propre à chaque personne et constitue donc une évaluation peu répétable. Dans notre étude, un seul chauffeur a été interrogé pour chaque machine. Les résultats du questionnaire ont donc été interprétés avec une grande précaution.

Résultats

Exposition aux vibrations

Figure 1 : Exposition quotidienne aux vibrations induite par chaque outil (Sous-soleur multifonction, Culti Forest, Broyeur autoporté, Sous soleur tracté) pour une journée de travail nominale de 8 heures, en fonction de la durée d'utilisation quotidienne de l'outil. La valeur d'action et la valeur d'exposition limite sont représentées ainsi que, pour chaque outil qui atteint ces valeurs, la durée nécessaire pour atteindre la valeur.



L'exposition aux vibrations pour une durée de conduite de la machine de 6h était de 1.12, 0.95, 0.88 et 0.76 $m s^{-2}$ pour les outils SSMF, CF, BROY et SS, respectivement. En considérant une durée d'utilisation de l'outil quotidienne de 6h, tous les outils dépassaient la valeur d'action, mais aucun n'a atteint la valeur limite d'exposition.

La figure 1 montre la relation entre l'exposition moyenne quotidienne et la durée d'utilisation quotidienne de l'outil, pour chaque outil. Nous voyons que la valeur d'action était atteinte pour une durée de 1h 12mn, 1h 40mn, 1h 55mn et 2h 37mn, pour les outils SSMF, CF, BROY et SS, respectivement. La valeur limite d'exposition était atteinte pour une durée de 6h 18mn pour l'outil SSMF. Pour les trois autres outils, cette valeur n'a jamais été atteinte si la durée travaillée journalière n'excédait pas 8 heures.

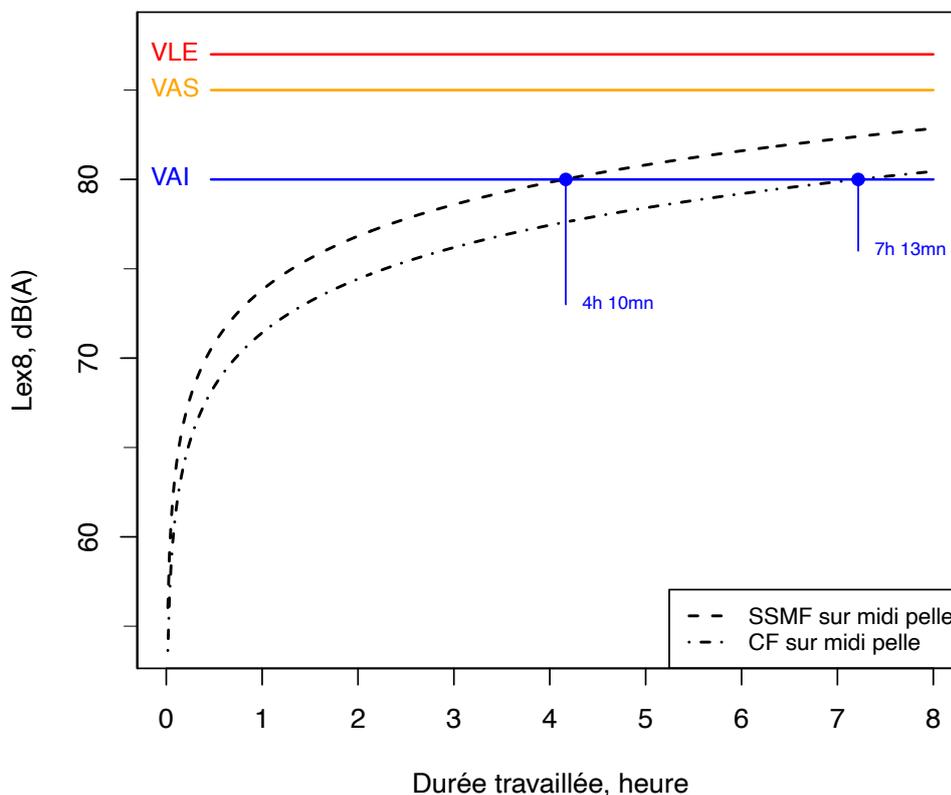
Exposition au bruit

L'exposition au bruit pour une durée de conduite de la machine de 6h était de 81,6 dB (A) pour SSMF et de 79.2 dB (A) pour CF. En considérant une durée d'utilisation de l'outil quotidienne de 6h, SSMF a dépassé la valeur d'action inférieure, mais pas CF.

La figure 2 montre la relation entre l'exposition moyenne quotidienne et la durée d'utilisation quotidienne de l'outil, pour chaque outil. Les outils SSMF et CF ont atteint la valeur d'action inférieure après 4h 10mn et 7h 13mn d'utilisation, respectivement, et n'ont pas atteint la valeur d'action supérieure dans une journée de 8 heures.

Le niveau de crête était de 130.5 dB (C) pour SSMF et de 126.4 dB (C) pour CF, ces deux estimations se situant en dessous de la valeur d'action inférieure.

Figure 2 : Exposition quotidienne au bruit induite par chaque outil (Sous-soleur multifonction, Culti Forest) pour une journée de travail nominale de 8 heures, en fonction de la durée d'utilisation quotidienne de l'outil. La valeur d'action inférieure, valeur d'action supérieure et la valeur l'exposition limite sont représentées ainsi que, pour chaque outil qui atteint ces valeurs, la durée nécessaire pour atteindre la valeur.



Ressenti des chauffeurs

Le ressenti des chauffeurs (Tableau 3) a rejoint les mesures de vibrations, avec un niveau de vibrations ressenti plus fort pour la pelle que pour les deux autres porte-outils. En revanche, le chauffeur n'a pas ressenti de différence entre les deux outils montés sur pelle (SSMF et CF), contrairement à ce que suggéraient les mesures.

De même pour le niveau sonore, le ressenti des chauffeurs a confirmé les mesures effectuées dans la cabine de la pelle. Les chauffeurs ont rapporté un niveau sonore très bon dans le tracteur et moyen dans le broyeur autoporté, mais ces avis n'ont pas pu être confrontés à des mesures, puisque celles-ci manquent sur ces deux machines.

Discussion

D'une façon générale, l'ergonomie du poste de conduite des machines lors de la réalisation de PMS avant plantation en forêt a été peu étudiée (Carvalho dos Santos 2021). A notre connaissance, une seule étude, menée par notre groupe de travail (Ruch et al. 2023), est actuellement disponible sur cette question, en France. Cette première étude a évalué un outil (Sous-Soleur Multifonction) monté sur des pelles mécaniques de différentes tailles (2.7, 5 et 9 t). En comparaison, notre étude a évalué différents outils (Sous-Soleur Multifonction, Culti Forest, sous-soleur tracté, broyeur) montés sur différents types de porte-outils (outils montés sur midi-pelle, sur tracteurs, outil autoporté).

Tableau 3 : Réponses au questionnaire sur le ressenti des chauffeurs

| Questions | Réponses | | |
|---|---|--|--|
| | A | B | C |
| Nom du chauffeur | | | |
| Type de préparation réalisée | Pelle (SSMF et CF) | Tracteur (SST) | Outils autoporté (BROY) |
| Comment jugez-vous le niveau de vibration ? | <ul style="list-style-type: none">• Insuffisant (trop de vibrations)• En phase de travail, peu de vibrations• En mode lent, vibrations importantes• Le terrain est à l'origine des secousses | <ul style="list-style-type: none">• Très bon | <ul style="list-style-type: none">• Bon• Mauvaise suspension de la cabine |
| Comment jugez-vous le niveau d'insonorisation ? | <ul style="list-style-type: none">• Très bon | <ul style="list-style-type: none">• Très bon | <ul style="list-style-type: none">• Moyen, à améliorer |
| Le bruit vous dérange-t-il ? | <ul style="list-style-type: none">• Non, car cabine fermée | <ul style="list-style-type: none">• Non | <ul style="list-style-type: none">• Oui, par moment |
| Votre ressenti diffère-t-il selon les outils ? | <ul style="list-style-type: none">• Pas de différence notable entre les deux outils testés | <ul style="list-style-type: none">• Non concerné | <ul style="list-style-type: none">• Non concerné |

Le SSMF testé dans notre étude correspond à l'outil monté sur la pelle de 9 t de la 1^e étude. Les valeurs d'exposition moyenne quotidienne au bruit estimées pour une durée de travail quotidienne de 6 h ($L_{EX,8}$) étaient dans le même ordre de grandeur pour les deux études (situées entre la Valeur d'Action Inférieure et la Valeur d'Action Supérieure). De même, le niveau de crête ($L_{p,C,peak}$) se trouvait dans la même gamme de valeurs (en dessous de la Valeur d'Action Inférieure) dans les deux études. En revanche, l'exposition quotidienne aux vibrations pour une durée de travail quotidienne de 6 h [$A(8)$] observée dans notre étude, proche de la Valeur Limite d'Exposition, était plus élevée que dans la 1^e étude.

Les niveaux d'exposition aux vibrations et au bruit peuvent varier fortement selon les machines et les outils utilisés (marque, niveau d'usure), les caractéristiques de la parcelle (pente, encombrement, enrochement, niveau d'humidité du sol), les caractéristiques du travail réalisé, notamment le schéma de plantation (ligne, plateau, potet) et le type de préparation réalisée (sous-solage, scarification, broyage, ...), ainsi que le chauffeur et sa technique de conduite. Une étude unique apporte donc des premiers enseignements, mais ne permet pas d'extrapoler à d'autres chantiers de plantation les mesures réalisées sur les différentes machines. Pour cela, des études plus nombreuses incluant des conditions de chantier variées sont nécessaires.

Le principal apport de notre étude réside dans la comparaison, sur un même chantier, de différentes machines.

Le niveau d'exposition aux vibrations est plus fort dans les outils montés sur mini-pelle que ceux sur tracteur et les outils autoportés, et le ressenti des chauffeurs concorde avec les mesures effectuées. La Valeur d'Action est rapidement atteinte pour les quatre outils, et la Valeur Limite d'Exposition est atteinte pour le SMMF. Ces observations imposent pour chacun de quatre outils la recherche de solutions techniques pour réduire l'exposition du chauffeur (diminuer le temps d'exposition, former les chauffeurs à une bonne conduite des machines, améliorer le confort du poste de conduite notamment le siège).

Pour les deux outils suivis (SSMF et CF), le niveau d'exposition au bruit est proche de la Valeur d'Action Inférieure, selon la durée quotidienne de travail. Pour ces deux outils, le ressenti des chauffeurs concorde avec ces observations. Il est dommage que nous n'ayons pas pu réaliser de mesures de son sur le broyeur car, selon le ressenti des chauffeurs, c'est la machine qui expose le plus au bruit. Prises dans leur ensemble, ces observations incitent à la recherche de solution pour améliorer l'insonorisation de la cabine, tout particulièrement pour le broyeur.

Références bibliographiques

Carvalho dos Santos L., da Silva Lopes E., Braun Martins A., Krulikowski Rodrigues C. 2021 Operators exposure to whole-body vibration while performing forest soil preparation by bulldozer and hydraulic excavators. *Floresta* 51(4) 962-970.

Falco F. 2011. Evaluation de l'exposition aux vibrations corporelles des opérateurs du département coque d'un chantier naval. *INRS, Hygiène et sécurité de travail*, 223 : 103-108.

Godard L. 2024. Caractéristiques techniques et ergonomie du poste de conduite d'un broyeur utilisé pour une Préparation Mécanisée du Site. Rapport Interne, RENFOR, INRAE-ONF-AgroParisTech, 7 p.

Griffin M.J., Howart H.V.C., Pitts P.M., Fischer S., Kaulbars U., Donati, P.M., Bereton P.F. 2008. EU Good Practice Guide WBV: Guide to good practice on Whole-Body Vibration. 65p.

Puyal M. 2024a Description des caractéristiques techniques de trois machines et outils de Préparation Mécanisée du Site avant plantation. Rapport Interne, ONF, 16 p.

Puyal M. 2024b Évaluation de l'ergonomie du poste de conduite de deux porte-outils, utilisés pour la Préparation Mécanisée du Site avant plantation. Rapport Interne, ONF, 17 p.

Thiéry L., Canetto P. 2009. Evaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit. *INRS*. 77p.

Ruch P., Montagny X., Lenormand C. 2023. Performances de 3 types de pelles hydrauliques et évaluations ergonomiques en préparation de sol. Rapport du projet PIF- Plantations Innovantes en Forêt. 77 p.