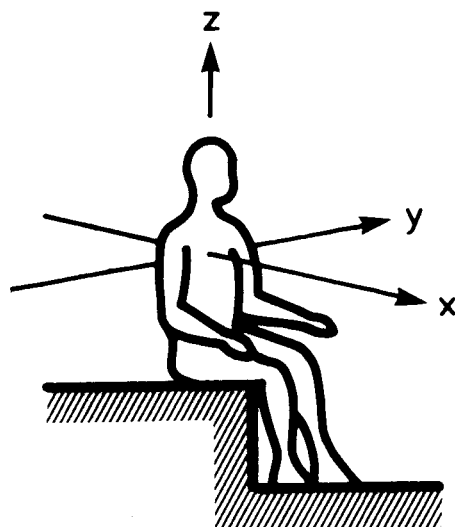


ANALYSE DES VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS SUR LES DÉBUSQUEURS

J.-M. Golsse et P.A. Hope

Décembre 1987



Rapport Technique

RT-77

RAPPORT TECHNIQUE N° RT-77

ANALYSE DES VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS SUR LES DÉBUSQUEURS

J.-M. Golsse et P.A. Hope

Décembre 1987

This Technical Report is available in English

Traduit par: T. Sicard-Lussier, ing.f.

Mots-clés: ergonomie, vibration globale du corps,
débusqueurs, débusqueurs à pince,
débusqueurs à câble, siège, analyse
des vibrations.

AVANT-PROPOS

Dans le but de permettre à l'industrie de mieux saisir la relation entre le déplacement d'une machine hors-route à vitesse relativement élevée et le confort de l'opérateur, FERIC a évalué les niveaux de vibration dus au transport, sur un échantillon de débusqueurs à roues, dans diverses conditions de fonctionnement.

Il est à noter que les résultats présentés sont propres aux machines et aux conditions étudiées et ne devraient être appliqués ailleurs qu'avec prudence. De plus, comme l'étude n'avait pas pour but de différencier les "bonnes" ou les "mauvaises" machines, et qu'elle n'a pas été conçue en ce sens, nous n'avons mentionné ni les marques ni les modèles de débusqueurs.

Pour plus de clarté et de brièveté, les résultats d'intérêt limité ont été omis du rapport. On peut obtenir de plus amples détails en communiquant directement avec FERIC. Toutes les données quantitatives sont exprimées dans le Système international d'unités (SI); le lecteur intéressé trouvera en annexe une table de conversion au système anglais.

Les auteurs aimeraient exprimer leurs remerciements au personnel des entreprises suivantes pour leur participation empressée:

- Coopérative St-Dominique-du-Rosaire
- Produits forestiers E.B. Eddy Limitée
- Great Lakes Forest Products Limited
- Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec
- Kimberley-Clark of Canada Limited

Leur reconnaissance s'adresse également à K. Hadley pour son appui technique.

Les auteurs

Jean-Marie Golsse a reçu en 1983 un B.Sc. (génie forestier) et en 1985 une Maîtrise en génie forestier (M.FE), de l'Université du Nouveau-Brunswick. Il s'est joint à la Division de l'Est de FERIC en 1986; il est membre du Secteur ingénierie et en charge du programme d'ergonomie.

Patricia Hope a reçu en 1979 un B.Sc. (biologie humaine) et en 1985 une M.Sc. avec spécialisation en ergonomie forestière, de l'Université de Guelph. Patricia a été membre de la Division de l'Est de FERIC de 1984 à 1986 et a contribué à mettre sur pied le programme d'ergonomie.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT-PROPOS	i
LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES FIGURES	iii
SOMMAIRE	iv
INTRODUCTION	1
Théorie des phénomènes vibratoires	1
DÉFINITIONS	3
INSTRUMENTATION	6
CONDITIONS DE L'ÉTUDE	7
Échantillon de machines	7
Paramètres environnementaux et opérationnels	8
Opérateurs	9
RÉSULTATS ET DISCUSSION	10
Chronométrages	10
Valeurs efficaces et valeurs crêtes d'accélération pondérées, ensemble de l'échantillon	11
Valeurs efficaces et valeurs crêtes d'accélération pondérées, par groupe de débusqueurs	12
Effets de la configuration du siège	15
Facteurs de crête	16
Temps d'exposition maximum admissibles	16
CONCLUSIONS	19
BIBLIOGRAPHIE	20
LECTURES CHOISIES	21
ANNEXE A: LIMITES À LA CAPACITÉ RÉDUITE PAR FATIGUE, TELLES QUE DÉFINIES PAR ISO 2631	22
ANNEXE B: FACTEURS DE PONDÉRATION	24
ANNEXE C: VALEURS EFFICACES D'ACCÉLÉRATION PONDÉRÉES PAR GROUPE DE MACHINES	25
ANNEXE D: TABLE DE CONVERSION	26

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1. Direction du système de coordonnées pour l'évaluation des vibrations mécaniques qui influencent le corps humain.	4
2. Relation entre les niveaux de valeur efficace et de crête.	5
3. Instruments servant à l'enregistrement des données.	6
4. Valeurs efficaces et valeurs crêtes d'accélération pondérées par activité, ensemble de l'échantillon.	11
5. Valeurs efficaces d'accélération pondérées par activité, par groupe de débusqueurs.	12
6. Valeurs crêtes d'accélération pondérées par activité, par groupe de débusqueurs.	13
7. Piste de débusquage suivie par la machine n° 6, dont le bouclier ventral glissait sur une surface régulière.	14

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	
1. Caractéristiques des machines	8
2. Paramètres environnementaux et opérationnels	8
3. Paramètres relatifs aux opérateurs	9
4. Répartition des temps du cycle par groupe de débusqueurs	10
5. Valeurs efficaces d'accélération pondérées, ensemble de l'échantillon	11
6. Valeurs crêtes d'accélération pondérées, ensemble de l'échantillon	12
7. Effet de la configuration du siège (valeurs efficaces)	15
8. Facteurs de crête en fonction du groupe de débusqueurs (déplacement en charge)	16
9. Temps réels et admissibles par activité (valeurs efficaces d'accélération, ISO 2631, limites à la capacité réduite par fatigue)	17
10. Pourcentage des temps admissibles par activité en fonction des limites à la capacité réduite par fatigue (valeurs efficaces)	18

SOMMAIRE

Les niveaux de vibrations globales du corps auxquels sont exposés les conducteurs de véhicules lourds circulant hors-route ont été reliés à la fatigue et à d'éventuels problèmes de santé (Troup, 1978; Pope et Frymoyer, 1986). Nous disposons toutefois de peu d'information se rapportant directement aux exploitations forestières canadiennes. Parmi les machines qu'utilise l'industrie forestière, les débusqueurs sont sans doute celles qui présentent les risques les plus élevés de vibrations globales du corps, étant donné la nécessité d'atteindre des vitesses de déplacement relativement élevées en terrain accidenté. En fait, des recherches antérieures ont montré que les niveaux de vibration globale sur les débusqueurs dépassent souvent les normes couramment admises de l'ISO; mais FERIC a jugé à-propos d'effectuer une étude plus poussée dans une gamme plus étendue de conditions, afin de mieux définir le problème et son ampleur. On visait comme objectif secondaire à sensibiliser davantage l'industrie à la théorie des vibrations et à ses implications.

C'est pourquoi nous avons mesuré la vibration due au transport, pour un échantillon de débusqueurs à câble et à pince, dotés de sièges rigides et à suspension, durant des opérations réelles en Ontario et au Québec. Par la suite nous avons déterminé, à partir de ces mesures et de données chronométriques, les niveaux d'exposition quotidienne des opérateurs.

Les niveaux d'accélération enregistrés pour toutes les machines étaient régulièrement plus élevés que les limites acceptables recommandées par la norme ISO 2631. Même si les valeurs verticales (suivant l'axe des z) étaient plus sévères que les valeurs mesurées dans le plan horizontal (axes des x et des y), aucune n'était satisfaisante. Pour un temps d'exposition égal, les débusqueurs à pince avaient des effets généralement moins nocifs que les débusqueurs à câble munis de sièges à suspension, lesquels étaient à leur tour moins dommageables que ceux dont les sièges étaient rigides. Mais parce que le temps quotidien d'exposition est plus élevé avec les débusqueurs à pince, leurs opérateurs peuvent être soumis à des effets de vibrations semblables ou même plus sévères que les conducteurs de débusqueurs à câble. Dans l'ensemble, les opérateurs de débusqueurs semblent être exposés à un des plus graves niveaux de vibrations dues au transport que présentent les machines industrielles.

Réduire les vibrations globales du corps sur les débusqueurs ne constitue pas une tâche facile. Des facteurs tels que la nature même du travail à accomplir, le coût qu'impliquent le design de systèmes adéquats d'isolation et leur adaptation à ces machines, et l'incertitude qui demeure relativement aux conséquences d'une exposition intermittente aux vibrations, font obstacle à une amélioration véritable.

Aussi longtemps que l'industrie n'exigera pas des cabines mieux conçues, la plupart des fabricants ne prendront sans doute pas d'eux-mêmes une telle initiative. Entre-temps, FERIC se propose d'évaluer la viabilité de certaines solutions partielles susceptibles de réduire les niveaux de vibrations globales sur les débusqueurs.

INTRODUCTION

Des études antérieures ont montré que les opérateurs de machinerie lourde exposés à des niveaux élevés de vibration globale du corps sont des candidats de choix à la fatigue, et qu'ils souffrent également de certaines formes de détérioration physiologique du système vertébral (Pope et al., 1980). Malheureusement, même si ces niveaux de vibration ont été étudiés en rapport avec plusieurs machines industrielles à travers le monde, nous ne disposons que de peu d'information s'appliquant directement au contexte forestier canadien.

Parmi les machines couramment utilisées dans les exploitations forestières, les débusqueurs sont probablement celles qui présentent les plus grands risques de vibration globale du corps, étant donné la nécessité d'atteindre des vitesses de déplacement élevées en terrain accidenté. Aussi l'intensité des vibrations globales auxquelles sont exposés leurs conducteurs mérite-t-elle une attention particulière, d'autant plus qu'on retrouve plusieurs milliers de ces machines à travers le Canada. Wilson (1984) et Hope (1985), de même que certains organismes de recherche, ont étudié les niveaux de vibration globale sur les débusqueurs au Canada et ont trouvé qu'ils étaient souvent plus élevés que les limites couramment admises. Comme complément à cette recherche, FERIC a jugé à-propos d'effectuer une étude plus poussée, dans une gamme plus variée de conditions. Nous avons donc en 1985 mesuré les niveaux de vibration globale du corps sur un échantillon de débusqueurs mis en oeuvre dans des conditions caractéristiques de l'est du Canada. L'objectif visait à déterminer l'ampleur du problème pour indiquer la nécessité de recherches futures vers des solutions éventuelles. (Le présent rapport offre un sommaire des résultats de l'étude.)

Il est important de noter que ces résultats sont propres aux machines et aux conditions étudiées. Ils ne font qu'illustrer le problème potentiel de vibration globale du corps et ne devraient donc être appliqués ailleurs qu'avec une extrême prudence.

Théorie des phénomènes vibratoires

Les vibrations sont essentielles à la vie. Ainsi, nous voyons, nous sentons, nous entendons, et nous communiquons verbalement par le moyen d'une forme quelconque de mécanisme vibratoire. Nous percevons ou sentons ces forces vibratoires émises à des fréquences précises, grâce à différentes parties de notre corps qui jouent le rôle de capteurs complexes, et sont capables de transmettre électriquement à notre cerveau l'information reçue aux fins d'identification et de réaction.

Un grand nombre de vibrations constituent des sources agréables, confortables, et souvent fort à-propos d'information essentielle à notre vie quotidienne. Toutefois leur force (amplitude) et leur distribution dans le temps (fréquence) détermineront les niveaux de plaisir et de confort qu'elles nous procurent. Par exemple, un son devient un bruit quand il atteint une intensité supérieure à celle que nous pouvons tolérer.

Certaines des vibrations auxquelles les humains sont exposés viennent de ce qu'ils travaillent avec ou sur des machines. Les forces vibratoires de grande amplitude et de basse fréquence (c'est-à-dire <1 Hz) comme celles qui se produisent sur un bateau sur une mer agitée, ou dans une cabine élevée sur un véhicule qui se déplace lentement, sont les vibrations responsables du mal des transports. Les forces vibratoires à fréquence plus élevée (c'est-à-dire >80 Hz) affectant les membres supérieurs, comme par exemple celles qui sont transmises par le moteur d'une scie à chaîne et par le mouvement de la chaîne, sont appelées vibrations segmentales (mains-bras). Enfin les forces vibratoires dont la gamme de fréquence se situe entre 1 et 80 Hz, ressenties par le corps entier, sont connues sous le nom de vibrations globales du corps. Ces vibrations proviennent habituellement de véhicules en mouvement. Quel que soit le véhicule, elles varient en fonction de la vitesse de déplacement, ainsi que de la nature et du nombre des obstacles que le véhicule doit franchir. Ce dernier type de vibrations constitue le sujet du présent rapport.

Les vibrations globales du corps sont le résultat de deux types de forces qui agissent sur l'opérateur. Une force non-cyclique transmise durant un laps de temps très court, et dont le niveau de crête est atteint instantanément est appelée une force d'impact. Une lame de débusqueur qui frappe une souche, ou une dénivellation soudaine du terrain peuvent produire ces forces d'impact. Si elles sont suffisamment fortes, il peut arriver que l'opérateur rebondisse hors de son siège ou soit heurté par des objets projetés ici et là dans la cabine. Le mouvement régulier de la machine en terrain accidenté produit des forces moins brusques. C'est là le type de forces vibratoires dues au mouvement que l'opérateur rencontre le plus couramment dans le cadre de son travail quotidien. Les effets de ces forces varient avec la durée d'exposition. Aussi sont-ils plus difficiles à définir et à contrôler que les dommages instantanés causés par des forces d'impact élevées. La vibration globale du corps s'applique à ces forces combinées et précise les effets de forces répétitives agissant dans une gamme spécifique de fréquences.

La gamme de fréquence de 1 à 80 Hz exerce une grande influence sur le comportement du corps humain. Ce dernier est composé de plusieurs masses (membres, tête, organes internes, muscles, etc.) reliées par des ressorts et des amortisseurs (tendons, ligaments, disques vertébraux, etc.). Cette structure complexe obéit à une loi de la physique qu'on appelle le phénomène de résonance. La fréquence de résonance du corps dans son ensemble et de l'abdomen se situe dans la gamme de 4 à 8 Hz. La colonne vertébrale sera en résonance entre 10 et 12 Hz et les poumons à environ 50 Hz. Quand une masse est exposée à une force vibratoire équivalente à sa fréquence de résonance, elle se met à bouger à la même fréquence et son déplacement (amplitude) en vient souvent à dépasser celui de la force émettrice (Le Borgne, 1984). Cette situation désagréable peut créer dans le corps humain des tensions chroniques et parfois même causer des dommages permanents aux organes ou aux parties du corps qui ont été touchées.

Une des principales parties du corps affectée par ces forces est le système vertébral. Les maux de dos les plus répandus sont souvent appelés des douleurs lombaires. La douleur première origine des parties de la colonne vertébrale qui contiennent des terminaisons nerveuses (muscles, ligaments, dure-mère épinière). Elle ne peut provenir des disques ni d'autres parties non innervées (Troup, 1978). Quand un disque est endommagé, la douleur est alors ressentie par les autres composantes du système vertébral, exposées à des forces plus élevées que la normale à cause du disque endommagé.

Nous ne saisissons pas encore entièrement les relations complexes entre la fatigue, les douleurs lombaires et les vibrations des machines, d'autant plus que la question est souvent embrouillée par des facteurs socio-économiques externes. Cependant il a été établi qu'une relation existe réellement (Pope et al., 1980). Confrontés à des niveaux élevés de vibration globale du corps, les opérateurs réagiront de différentes façons. Quelques-uns prendront des pauses plus longues et (ou) plus fréquentes, ou encore limiteront la vitesse de la machine selon leur niveau de confort, aux dépens bien sûr de la productivité. D'autres courent le risque d'être fatigués, encore aux dépens de la productivité, ou de souffrir de maux de dos. D'une façon ou de l'autre, le coût est énorme pour l'industrie.

À titre d'exemple, mentionnons que, indépendamment de la production perdue, les blessures au dos représentent environ le tiers de toutes les indemnisations pour accidents de travail au Canada. En 1984, la Commission des accidents du travail d'Ontario a dépensé près de 400 millions de dollars, uniquement en réclamations pour maux de dos (Imrie, 1986). Naturellement, une fraction seulement de cette somme est sans doute imputable à l'exposition aux vibrations, mais ces chiffres montrent bien la gravité possible du problème. Il est donc d'importance primordiale de déterminer l'ampleur des vibrations globales du corps dans le contexte des opérations forestières.

DÉFINITIONS

Il serait peut-être utile de définir ici certains termes spécifiques à l'analyse des vibrations et qui pourraient prêter à confusion.

La vibration globale du corps décrit les effets des vibrations mécaniques sur l'ensemble du corps humain. Dans le cas présent c'est l'effet, sur le bien-être de l'opérateur, du déplacement du débusqueur en terrain accidenté. Dans une tentative d'unification des nombreux paramètres qui entrent dans la mesure des vibrations globales (c'est-à-dire d'ordre mécanique, biologique et psychologique), l'Organisation internationale de normalisation a élaboré en 1974 une norme (ISO 2631) pour définir, mesurer et analyser ces vibrations. Nous avons utilisé dans le présent rapport la seconde édition de cette norme qui date de 1978. Il est possible que la norme de l'ISO ne s'applique pas intégralement dans le cas des débusqueurs, compte tenu de l'irrégularité du terrain et de la nature intermittente du déplacement. Nous l'avons néanmoins suivie faute de mieux, mais elle ne devrait être considérée que comme un guide.

La vibration globale du corps se mesure suivant trois directions orthogonales (figure 1), l'axe des x se trouvant dans le sens du déplacement, l'axe des y lui étant transversal, et l'axe des z étant dans la direction verticale qui va du siège à la tête de l'opérateur.

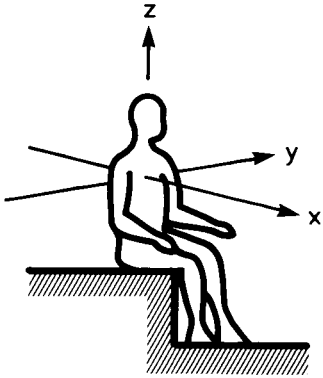


Figure 1. Direction du système de coordonnées pour l'évaluation des vibrations mécaniques qui influencent le corps humain (tiré de: ISO 2631, 1978).

La norme de l'ISO définit trois limites aux niveaux de vibration, basées sur les niveaux d'accélération:

1. la limite d'exposition
C'est la limite au-delà de laquelle la santé ou la sécurité ne peuvent plus être préservées.
2. la limite à la capacité réduite par fatigue
C'est la limite au-delà de laquelle l'efficacité au travail peut se trouver compromise. C'est aussi la limite au-delà de laquelle les effets dépendant du temps d'exposition sont présumément causes de fatigue et d'une baisse de performance. La courbe a ici la même forme générale que celle de la limite d'exposition, mais les niveaux correspondants sont divisés par 2 (voir annexe A). Cette limite s'applique particulièrement à la conduite d'un véhicule.
3. la limite au confort réduit
C'est la limite au-delà de laquelle il est impossible d'assurer un transport confortable. Elle se situe au tiers des niveaux correspondant à la limite à la capacité réduite par fatigue et la courbe a elle aussi la même forme. Elle s'applique habituellement au confort des passagers.

Pour des niveaux de vibration semblables, la limite au confort réduit est atteinte la première; ensuite vient la limite à la capacité réduite par fatigue et, en dernier lieu, la limite d'exposition. Aux fins de la présente étude, nous avons utilisé la limite à la capacité réduite par fatigue puisqu'elle se rapporte à l'efficacité au travail.

Dans le cas de la vibration globale du corps, comme d'ailleurs de tout autre type de vibration, c'est non seulement le niveau d'amplitude d'une force particulière qui est important, mais également la gamme de fréquence à laquelle elle se produit. Selon la norme ISO, les vibrations globales du corps sont limitées à la gamme de 1 à 80 Hz, et sont mesurées dans des bandes de fréquence de tiers d'octave.

Des facteurs de pondération, donnés à chaque axe pour chaque bande de tiers d'octave, servent à pondérer les fréquences proportionnellement à leur incidence sur les fréquences de résonance du corps. Dans l'axe des z, la gamme de 4 à 8 Hz est celle qui a le plus de poids, alors que les fréquences de 1 à 2 Hz sont critiques suivant les axes des x et des y. Prenons un individu assis exposé à des forces vibratoires verticales suivant l'axe des z; son corps, qui agit comme masse unitaire au-dessous de 2 Hz, atteint sa première fréquence de résonance entre 4 et 6 Hz. Cependant, au-dessus de 10 Hz, l'amplitude du déplacement du corps dû aux vibrations devient plus petite que celle des forces d'excitation. Dans le cas de forces de poussée agissant perpendiculairement (axes des x et des y) à la ligne d'action de la force de gravité sur le corps humain assis, toutes les fréquences de résonance critiques sont limitées à la gamme de 1 à 3 Hz (von Gierke et Goldman, 1976). On utilise donc différents facteurs de pondération qui correspondent à différentes fréquences, suivant les différentes lignes d'action. Ces facteurs de pondération apparaissent au tableau de l'annexe B.

Les niveaux d'accélération en mètres par seconde carrée (m/s^2) sont habituellement exprimés en valeurs efficaces (figure 2) ou valeurs moyennes quadratiques. On obtient ainsi un nombre qui représente une accélération moyenne intégrée sur une certaine période de temps.

Les niveaux d'accélération de crête maximum nous renseignent sur les forces d'impact qui autrement n'apparaîtraient pas dans les niveaux d'accélération exprimés en valeurs efficaces. C'est un élément particulièrement important dans le cas des débusqueurs qui rencontrent souvent sur leur route des obstacles majeurs (par exemple, souches élevées, roches, grands trous).

Les facteurs de crête aident à définir la difficulté d'un transport donné. Ils représentent le rapport du niveau pondéré d'accélération de crête sur la valeur efficace pondérée correspondante.

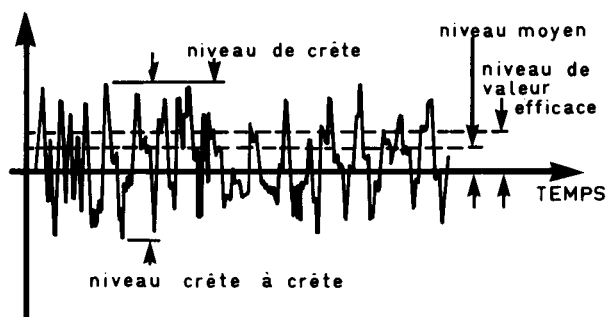


Figure 2. Relation entre les niveaux de valeur efficace et de crête (tiré d'un livret de Brüel et Kjaer).

Pour de plus amples renseignements sur ce sujet assez complexe, le lecteur est prié de consulter la norme ISO, ainsi que la documentation traitant de l'analyse des vibrations. On trouvera à la fin du présent rapport une liste de lectures choisies susceptibles de présenter un certain intérêt.

INSTRUMENTATION

Un accéléromètre piézoélectrique triaxial (modèle 4321) de Brüel et Kjaer (B & K), monté dans un coussin de siège de fabrication artisanale, captait les données vibratoires brutes transmises au siège de la machine (figure 3-a). Un accéléromètre uniaxial B et K 4371 servait simultanément à percevoir les vibrations verticales sur le plancher de la machine sous le siège. Toutes ces données furent recueillies sur le terrain par un enregistreur magnétique FM à quatre voies, B et K 7007 (figure 3-b), équipé de quatre amplificateurs de fréquence ZM 0060 (figure 3-c).

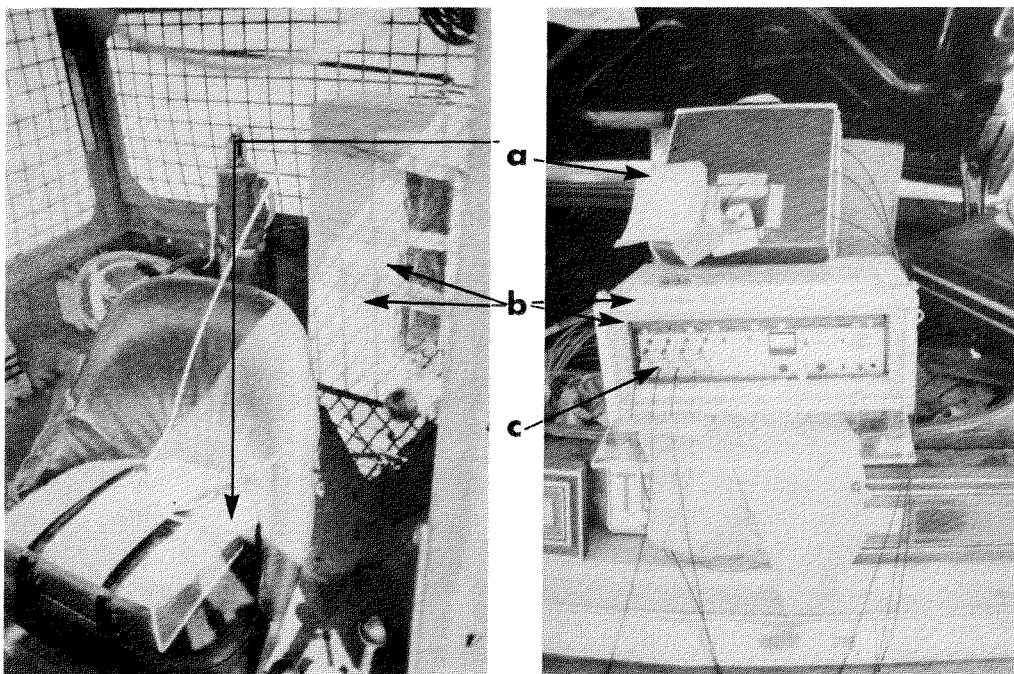


Figure 3. Instruments servant à l'enregistrement des données.
a) Accéléromètre triaxial B et K 4321 et coussin de siège.
b) Enregistreur magnétique FM B et K 7007 dans un boîtier protecteur.
c) Amplificateurs de fréquence B et K 0060 dans l'enregistreur magnétique.

Les données enregistrées furent analysées à l'interne au moyen d'un analyseur numérique de fréquence B et K 2131, pour déterminer les valeurs efficaces non pondérées sur toute la gamme de fréquences. Une table traçante B et K 2308 servait à présenter les résultats sous forme graphique. Cette analyse a permis de déterminer les temps admissibles d'exposition, conformément à la norme ISO 2631.

Nous avons effectué une analyse plus poussée afin d'obtenir les valeurs crêtes et les valeurs efficaces d'accélération pondérées (1 à 80 Hz), avec l'aide et l'instrumentation de l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST), de Montréal. Ces données servirent par la suite à déterminer les facteurs de crête. Le réseau de pondération utilisé était celui d'un mesureur de vibrations humaines B et K 2512. Il servait d'interface entre l'enregistreur magnétique et un amplificateur de mesure B et K 2636 pour déterminer les valeurs crêtes pondérées. Parallèlement, on utilisait un sonomètre intégrateur de précision B et K 2218, modifié, pour trouver les valeurs efficaces d'accélération pondérées.

CONDITIONS DE L'ÉTUDE

De juin à août 1985, le personnel de FERIC a recueilli des données à cinq endroits différents au Québec et en Ontario. Toutes les machines furent mises à l'essai durant des cycles réguliers de débusquage; elles étaient conduites par des opérateurs expérimentés à l'emploi des compagnies.

Échantillon de machines

L'échantillon de machines comprenait huit débusqueurs à roues, correspondant à dix configurations différentes. Deux des huit débusqueurs subirent de nouveaux essais après qu'on eût ajouté un coussin de polymère sur le siège. Les dix configurations d'essais étaient réparties en trois groupes principaux, tel qu'indiqué au tableau 1:

- Le groupe 1 représentait les deux débusqueurs à pince.
- Le groupe 2 représentait les trois débusqueurs à câble avec sièges rigides.
- Le groupe 3 représentait les cinq débusqueurs à câble avec sièges à suspension.

Bien que limité, l'échantillon est assez représentatif de la diversité de machines et de pneus qu'on rencontre dans les exploitations forestières de l'est du Canada, ainsi que de l'âge de ces machines.

Tableau 1. Caractéristiques des machines

Groupe	Machine*	Type de débuseur	Type de siège	Puissance (kW)	Pneus**	Trans-mission	Année
1	1	pince	rigide	116	71x24.5-32	3 vitesses	1985
	2	pince	à susp.	90	71x24.5-32	8 vitesses	1985
2	3	câble	rigide	67	65x18.4-34	3 vitesses	1981
	4	câble	rigide	99	65x18.4-34	3 vitesses	1985
	4-a	câble	rigide	99	65x18.4-34	3 vitesses	1985
3	5	câble	à susp.	89	68x18.4-34	3 vitesses	1985
	6	câble	à susp.	90	74x30.5-32	8 vitesses	1980
	7	câble	à susp.	67	66x50-26	8 vitesses	1982
	8	câble	à susp.	99	65x18.4-34	3 vitesses	1985
	8-a	câble	à susp.	99	65x18.4-34	3 vitesses	1985

Note: * Les machines 4-a et 8-a étaient équipées d'un coussin de siège supplémentaire.

** En Amérique du Nord, les cotes de dimension des pneus sont normalement exprimées dans le système anglais. Ainsi un pneu 65x18.4-34 a 65" de diamètre et 18.4" de largeur, et sa jante a 34" de diamètre.

Paramètres environnementaux et opérationnels

Le tableau 2 présente en détails les divers paramètres environnementaux et opérationnels rencontrés au cours de l'étude. Les conditions d'été étaient excellentes dans tous les cas, avec absence de pluie. On procédait au débuseage d'arbres entiers et de troncs entiers en proportions égales.

Tableau 2. Paramètres environnementaux et opérationnels

Machine	Site	Système de récolte*	Nombre moyen d'arbres par charge	Type de sol **	Classe de terrain	Distance moyenne de dépla- cement en charge (m)	Vitesses moyennes de déplacement hors-route			
							À VIDE		EN CHARGE	
							(m/min)	(km/h)	(m/min)	(km/h)
1 2	A A	AE AE	8 12	- S	3.1.1. 1.3.1.	125	78,7	4,7	59,5	3,6
						97	101,3	6,1	90,3	5,4
						$\bar{x}= 111$	90,0	5,4	74,9	4,5
3 4 4-a	B C C	TE TE TE	14 35 32	S/A S/L S/L	2.3.1. 1.1.1. 1.1.1	101	64,9	3,9	65,4	3,9
						133	102,2	6,1	113,7	6,8
						89	107,6	6,5	107,6	6,5
						$\bar{x}= 108$	91,7	5,5	95,7	5,7
5 6 7 8 8-a	D E E C C	AE AE AE TE TE	12 25 22 32 26	L A A S/L S/L	3.2.1. 3.1.1. 3.1.1. 1.1.1. 1.1.1.	75	65,8	3,9	31,3	1,9
						490	106,8	6,4	81,2	4,9
						350	86,1	5,2	62,7	3,8
						114	131,9	7,9	96,2	5,8
						153	110,4	6,6	97,0	5,8
						$\bar{x}= 214$	100,2	6,0	73,7	4,4
$\bar{x}$						173	95,6	5,7	80,5	4,8

Note: * AE = Arbres entiers, TE = Troncs entiers

** S = Sable, L = Loam, A = Argile

Les types de sol variaient de sable à argile, avec quelques loams sableux. Les conditions d'humidité du sol passaient de sec à mouillé. Le degré de difficulté du terrain était similaire dans chaque cas pour les pistes de déplacement à vide et celles de déplacement en charge. Les classes de terrain ont été établies selon Mellgren (1980).

La distance de déplacement en charge atteignait en moyenne 173 m; et la vitesse de déplacement s'élevait en moyenne à 95,6 m/min (5,7 km/h) à vide, et à 80,5 m/min (4,8 km/h) en charge.

Opérateurs

Les renseignements d'ordre général sur les sept opérateurs apparaissent au tableau 3. Si on compare les paramètres anthropométriques (taille et poids) des opérateurs aux statistiques nationales (Demirjian, 1980), on voit que l'échantillon est conforme à l'ensemble de la population mâle adulte canadienne (c'est-à-dire entre le 10^e et le 90^e centile, mais en majorité autour du 50^e centile).

Les opérateurs possédaient une expérience en débusquage qui allait de 0,7 à 16 ans ($\bar{x}$ = 6,9 ans). L'expérience peut affecter l'efficacité de l'opération, la douceur du transport, et les précautions que prend l'opérateur en général. Aussi, bien que l'échantillon soit sans doute représentatif de la population normale des opérateurs de débusqueurs, il soulève certains doutes quant à la comparabilité des données. Compte tenu des variations entre les machines et dans les conditions de l'expérience, les résultats ne devraient être considérés que comme des indices de performance relative. Les données ne visent donc à présenter qu'un aperçu du problème des vibrations globales du corps dans diverses conditions de débusquage.

Tableau 3. Paramètres relatifs aux opérateurs

Machine	Âge (années)	Expérience (années)	Taille (cm)	Poids (kg)
1	24	4	166	59
2	44	16	170	77
3	26	7	166	77
4*	28	8	173	73
5	19	0,7	175	70
6	32	3	183	93
7	31	10+	170	82
8*	28	8	173	73

* Même opérateur

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Chronométrages

Comme l'analyse des vibrations globales du corps traite de l'incidence sur le corps humain des vibrations dues au mouvement, les données ne sont pertinentes que pour les éléments du cycle durant lesquels l'opérateur est dans la machine en mouvement. Ces éléments sont:

- le déplacement à vide (DV)
- le déplacement en charge (DC)
- l'empilage (EP)

Les autres temps (chargement, déchargement, temps morts) n'entrent pas en ligne de compte, puisque l'opérateur est alors à l'extérieur de la cabine s'il s'agit d'un débusqueur à câble, ou que la machine n'est pas en mouvement si c'est un débusqueur à pince.

Au cours de la période d'étude, nous avons effectué un chronométrage détaillé des éléments du cycle pendant près de 9 heures, simultanément à l'enregistrement des vibrations globales du corps. On trouvera au tableau 4 un sommaire de la répartition relative des temps du cycle pour les trois groupes de machines. Les manoeuvres (MA) et les déplacements durant le chargement (DDC) sont des éléments de courte durée qui se produisent après et (ou) durant le déplacement à vide et le déplacement en charge; ils ont donc été inclus avec ces derniers aux fins d'analyse.

Tableau 4. Répartition des temps du cycle par groupe de débusqueurs

Groupe de débus-queurs	Répartition du temps (%)									
	Temps en mouvement								Autres temps	Total
	dv	MA	DV*	dc	DDC	DC*	EP	Total		
à pince	25	7	32	33	4	37	3,5	72,5	27,5	100
à câble avec siège rigide	8	3	11	8	5	13	8	32	68	100
à câble avec susp.	15	5	20	20	3	23	4	47	53	100

Note: * DV = dv + MA; DC = dc + DDC

Étant donné leur mode de fonctionnement, les débusqueurs à pince passent proportionnellement plus de temps en mouvement que les débusqueurs à câble. La différence dans la répartition des temps du cycle pour les deux groupes de débusqueurs à câble semble directement attribuable à la différence dans la distance moyenne de débusquage (108 m par rapport à 214 m).

Valeurs efficaces et valeurs crêtes d'accélération pondérées, ensemble de l'échantillon

Les tableaux 5 et 6 présentent respectivement les valeurs efficaces et les valeurs crêtes d'accélération pondérées, pour l'ensemble de l'échantillon. Les deux types de données se retrouvent combinées dans le graphique de la figure 4. Dans les deux cas (valeurs efficaces et valeurs crêtes), il semble que les vibrations atteignent leur niveau le plus élevé suivant chacun des trois axes, durant la phase de déplacement à vide; vient ensuite la phase de déplacement en charge et enfin la phase d'empilage. Cela s'explique sans doute par la vitesse de déplacement plus élevée à vide et par l'effet stabilisateur de la charge durant le déplacement en charge. De plus il est évident que la vibration suivant l'axe des z est prépondérante aux vibrations suivant les axes des x et des y.

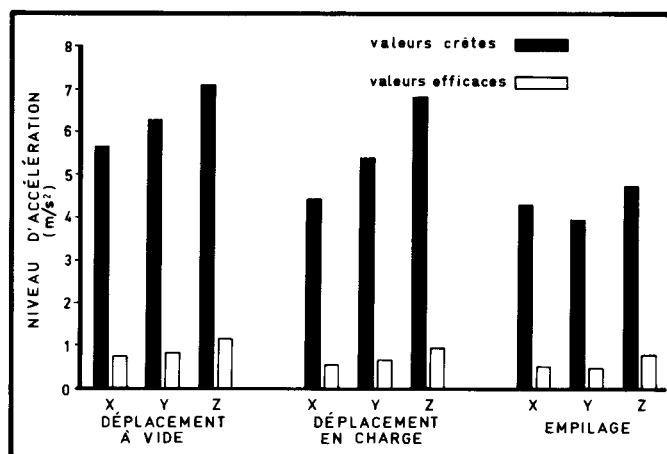


Figure 4. Valeurs efficaces et valeurs crêtes d'accélération pondérées par activité, ensemble de l'échantillon.

Tableau 5. Valeurs efficaces d'accélération pondérées, ensemble de l'échantillon

Paramètre statistique		DV (n* = 22)			DC (n = 17)			EP (n = 8)		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Niveau d'accélération m/s ²	moyenne	0,75	0,82	1,15	0,54	0,67	0,95	0,54	0,49	0,80
	écart-type	0,21	0,29	0,43	0,22	0,31	0,43	0,33	0,27	0,62
	variation	0,43-0,98	0,46-1,43	0,47-1,77	0,30-0,96	0,33-1,29	0,39-1,66	0,08-1,17	0,24-1,06	0,31-2,19

* n = nombre d'échantillons

Tableau 6. Valeurs crêtes d'accélération pondérées, ensemble de l'échantillon

Paramètre statistique		DV (n* = 22)			DC (n = 17)			EP (n = 8)		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Niveau d'accélération m/s^2	moyenne	5,66	6,27	7,08	4,41	5,38	6,80	4,28	3,93	4,74
	écart-type	1,97	1,98	3,48	2,08	2,11	2,74	2,67	1,70	2,44
	variation	3,25-8,00	4,12-8,14	2,24-14,83	2,37-8,42	2,37-9,76	2,37-11,66	1,26-10,00	2,24-6,70	2,24-8,41

* n = nombre d'échantillons

Valeurs efficaces et valeurs crêtes d'accélération pondérées, par groupe de débusqueurs

La figure 5 présente sous forme graphique les valeurs efficaces d'accélération pondérées par activité, pour chaque groupe de machines séparément. Les données numériques apparaissent à l'annexe C aux fins de consultation.

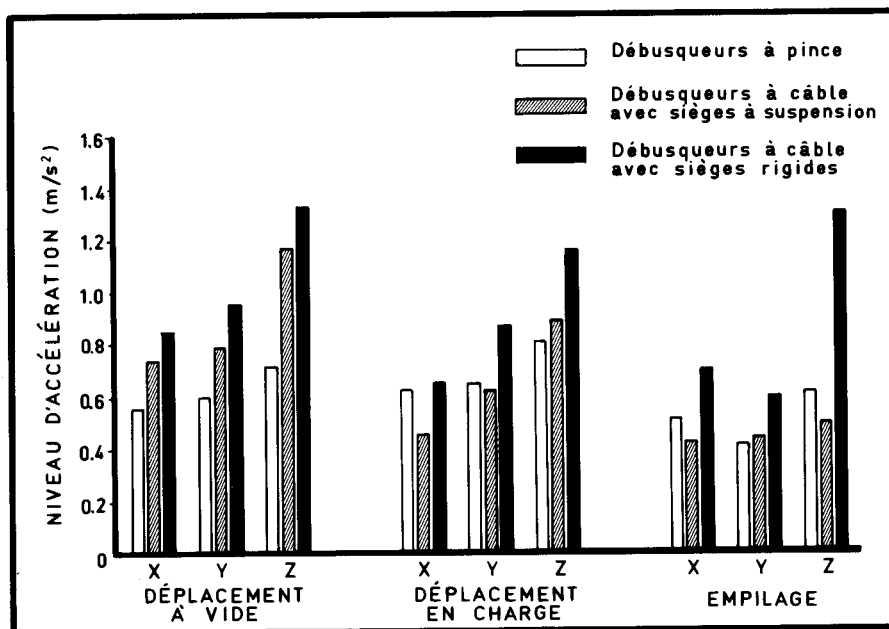


Figure 5. Valeurs efficaces d'accélération pondérées par activité, par groupe de débusqueurs.

Compte tenu des variations dans les machines et dans les conditions de l'étude, il est difficile d'effectuer des comparaisons directes, mais on peut quand même dégager certaines tendances générales. Dans chacun des cas (suivant chacun des axes et dans chaque activité), les débusqueurs à câble à siège rigide offraient le transport le plus brusque (c'est-à-dire les niveaux d'accélération les plus élevés). Les débusqueurs à pince semblaient présenter un certain avantage par rapport aux débusqueurs à câble avec sièges à suspension durant le déplacement à vide, sans doute à cause de différences dans la répartition du poids de la machine, mais on note peu de différence durant les autres activités impliquant un déplacement. Comme pour l'ensemble de l'échantillon, la vibration suivant l'axe des z est prépondérante aux vibrations suivant les axes des x et des y, pour chaque groupe de machines.

La figure 6 compare graphiquement la vibration relative par groupe de débusqueurs en se basant sur les valeurs crêtes d'accélération.

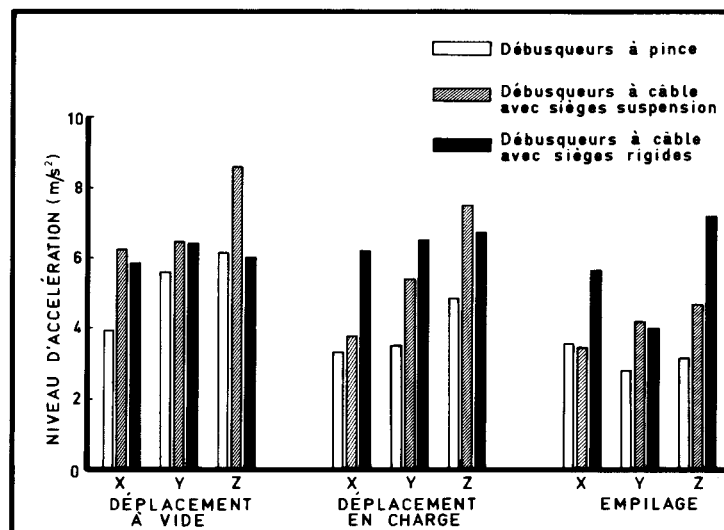


Figure 6. Valeurs crêtes d'accélération pondérées par activité, par groupe de débusqueurs.

Ici encore, les débusqueurs à pince offraient le transport le plus régulier, suivis par les débusqueurs à câble avec sièges à suspension, et enfin par les débusqueurs à sièges rigides, sauf une exception notable. Durant les déplacements à vide, les niveaux d'accélération de crête pour les sièges à suspension étaient en fait plus élevés que ceux des sièges rigides. Deux facteurs peuvent expliquer cette contradiction apparente par rapport à la croyance courante, ainsi qu'aux tendances notées précédemment.

Le premier facteur vient d'une caractéristique inhérente aux sièges à suspension traditionnelle. En général, bien qu'efficaces à des fréquences plus élevées, ces sièges ne sont pas capables de réduire les accélérations critiques à basse fréquence (1 à 3 Hz) et peuvent même souvent les amplifier (Kyeong et al., 1985). Ceci explique pourquoi il y a actuellement énormément de recherches en cours sur les sièges à suspension active et semi-active, par opposition aux sièges traditionnels isolés par ressorts.

Deuxièmement, certaines des conditions dans lesquelles se sont effectués les essais des débusqueurs avec sièges à suspension ont pu donner lieu à des valeurs efficaces d'accélération exagérément faibles (voir tableaux 1 et 2). Parmi les quatre machines observées (5, 6, 7 et 8) en effet, la machine 5 circulait à une vitesse comparativement peu élevée; la machine 6 se déplaçait sur une piste sillonnée d'ornières profondes, son bouclier ventral glissant le plus souvent sur une surface régulière (figure 7); et la machine 7 était équipée de pneus à haute flottaison qui ont la réputation d'amortir les chocs et de réduire le roulis latéral, compte tenu de vitesses et de conditions semblables, bien que la nature de l'étude n'ait pas permis de le confirmer. Il en résulte que les avantages généralement reconnus des sièges à suspension traditionnelle demeurent douteux.



Figure 7. Piste de débusquage suivie par la machine n° 6, dont le bouclier ventral glissait sur une surface régulière.

Effets de la configuration du siège

Une comparaison des niveaux de vibration des machines 4 et 8 durant leur déplacement peut jeter quelque lumière additionnelle sur la question des sièges à suspension. Les deux machines étaient des modèles identiques (seul le siège était différent) conduits par le même opérateur sur le même site. La comparaison est donc mieux contrôlée. Comme le montre le tableau 7, les valeurs efficaces d'accélération des sièges à suspension étaient, dans tous les cas, semblables ou plus élevées que celles des sièges rigides. Même si elle n'est pas concluante, cette constatation laisse croire que les caractéristiques d'amortissement aux vibrations qu'on reconnaît aux sièges à suspension ne sont pas nécessairement vraies hors-route. Cette question mérite d'être approfondie dans des conditions mieux contrôlées.

De plus, les deux mêmes machines ont été soumises à de nouveaux essais après qu'on leur eût ajouté un prototype de coussin de siège en polymère, fabriqué par Spenco Medical Corporation. Les résultats de cette expérience se sont révélés peu concluants, mais il semble que le coussin peut présenter certains avantages, en réduisant les vibrations à fréquence plus élevée. Ce sujet demanderait également une recherche plus poussée.

Tableau 7. Effet de la configuration du siège (valeurs efficaces)

Axe	Élément de cycle	Siège rigide Machine 4	Siège à suspension Machine 8
		Moyenne $\pm$ é-t.	Moyenne $\pm$ é-t.
X	DV DC	0,67 $\pm$ 0,13 0,47 $\pm$ 0,13	0,90 $\pm$ 0,16 0,48 $\pm$ 0,21
Y	DV DC	0,71 $\pm$ 0,03 0,64 $\pm$ 0,32	0,61 $\pm$ 0,83 0,21 $\pm$ 0,75
Z	DV DC	1,29 $\pm$ 0,18 0,84 $\pm$ 0,74	1,23 $\pm$ 0,32 1,00 $\pm$ 0,65

Facteurs de crête

Les facteurs de crête sont le rapport entre les niveaux pondérés des valeurs crêtes et des valeurs efficaces d'accélération. Ils servent à décrire la difficulté d'un transport particulier en faisant ressortir à quel point les valeurs crêtes dévient de la normale. Le tableau 8 présente les facteurs de crête par groupe de machines durant le déplacement en charge. Les facteurs de crête étaient plus élevés pour les machines dotées de siège à suspension, ce qui résultait probablement d'éléments déjà mentionnés (faible valeur efficace, crêtes élevées). Cependant, la norme ISO déclare que si les facteurs de crête dépassent la valeur de 3, les limites devraient être considérées comme sujettes à révision. Les facteurs de crête mesurés dépassaient cette limite dans tous les cas; on peut donc supposer que les niveaux de vibration sont extrêmement sévères, mais on ne peut dire à quel point exactement.

Tableau 8. Facteurs de crête en fonction du groupe de débusqueurs (déplacement en charge)

Groupe de débusqueurs	Axe		
	X	Y	Z
à pince	6,35	7,46	7,18
à câble avec siège rigide	7,73	6,95	5,05
à câble avec siège à susp.	8,33	8,79	7,43

Temps d'exposition maximum admissibles

Le tableau 9 compare le temps réel durant lequel les opérateurs sont exposés aux vibrations, au temps maximum admissible, tel que défini par les limites à la capacité réduite par fatigue (ISO 2631). Ces temps d'exposition maximale sont basés respectivement sur la fréquence la plus critique dans la gamme de 1,6 à 8,0 Hz pour les valeurs efficaces d'accélération enregistrées au cours de l'étude. La durée du poste de travail a été uniformisée à 8 heures (taux d'utilisation de 85%), conformément à ISO 2631, afin de permettre une comparaison valable. Les temps réels d'exposition par activité sont basés sur la répartition des éléments du cycle, tel qu'observé. On a toutefois fait la moyenne de la répartition des temps du cycle pour les deux groupes de débusqueurs à câble, puisque la variation était uniquement reliée à des différences dans la distance de débusquage.

Tableau 9. Temps réels et admissibles par activité (valeurs efficaces d'accélération, ISO 2631, limites à la capacité réduite par fatigue)

Groupe de débusqueurs	Activité	Temps réel		Temps admissible (heure) ISO, limites cap. réd. par fatigue		
		Z Enregistré	Équivalent horaire par poste de travail (heures)*	Axe		
				X	Y	Z
à pince	DV	32,0	2,2	3,3	3,3	1,5
	DC	37,0	2,5	2,3	3,3	3,3
	EP**	3,5	0,2	-	-	-
	autres temps	27,5	1,9			
	Total	100	6,8			
à câble avec siège rigide	DV	15,5	1,1	1,0	1,5	0,8
	DC	18,5	1,2	2,0	1,5	1,0
	EP	6,0	0,4	2,5	3,5	2,5
	autres temps	60,5	4,1			
	Total	100	6,8			
à câble avec siège à susp.	DV	15,5	1,1	1,9	1,9	1,5
	DC	18,0	1,2	4,2	4,1	3,0
	EP	6,0	0,4	3,3	4,0	3,3
	autres temps	60,5	4,1			
	Total	100	6,8			

Note: * Hypothèses: poste de travail de 8 heures; taux d'utilisation de 85%.
 ** Trop court pour être analysé (groupe 1 seulement).

Les pourcentages d'exposition du tableau 10 sont dérivés des données du tableau 9 et représentent le rapport du temps réel sur le temps admissible d'exposition. Les résultats font voir que les débusqueurs à câble équipés de sièges à suspension assurent le transport le moins nocif, mais la discussion précédente nous amène à mettre cette conclusion en doute. Fait intéressant, les niveaux relativement faibles des valeurs efficaces observés pour les débusqueurs à pince sont contredits par la plus grande proportion de temps en mouvement (72,5% par rapport à 39,5% pour les débusqueurs à câble).

Tableau 10. Pourcentage des temps admissibles par activité en fonction des limites à la capacité réduite par fatigue (valeurs efficaces)

Groupe débusqueurs	Activité	Pourcentage du temps admissible*		
		X	Y	Z
à pince	DV	67	67	147
	DC	109	76	76
	EP**	-	-	-
	Total (%)	176	133	223
à câble avec siège rigide	DV	110	73	138
	DC	60	80	120
	EP	16	11	16
	Total (%)	186	164	274
à câble avec siège à susp.	DV	58	58	73
	DC	29	29	40
	EP	12	10	12
	Total (%)	99	97	125

* Calculé en temps réel divisé par le temps admissible (tableau 9).

** Trop court pour être analysé (groupe 1 seulement).

Cependant, compte tenu de la variabilité dans les conditions de l'étude, toute comparaison plus poussée entre les groupes de machines serait tout-à-fait théorique. Une telle analyse pourrait éclipser le fait qu'aucun des trois groupes de machines n'avait dans l'ensemble des niveaux de vibration acceptables. En effet il suffisait souvent d'un seul temps élémentaire pour obtenir un niveau saturé de vibrations. En outre, là où chacun des éléments impliquant un déplacement était acceptable en soi, une fois les éléments combinés, les niveaux approchaient l'exposition maximale permise spécifiée par la limite à la capacité réduite par fatigue suivant chacun des axes, ou même la dépassaient de beaucoup. Ici encore, l'axe des z marquait une surexposition prépondérante aux vibrations, mais aucun des axes n'était acceptable.

CONCLUSIONS

L'objectif premier de l'étude visait à établir l'ordre de grandeur des vibrations globales du corps durant des activités réelles de débusquage. Les recherches ont porté sur divers systèmes d'exploitation, aires de travail, et types de machines, choisis de façon à offrir un éventail représentatif des conditions que présentent les exploitations forestières de l'est du Canada. On doit toutefois noter que toutes les mesures de vibrations ont été effectuées au cours de l'été et correspondent vraisemblablement aux pires conditions possibles. On peut supposer que les niveaux de vibrations globales du corps seraient plus faibles en hiver à cause du tapis de neige qui recouvre le sol, mais d'autres études seraient nécessaires à ce sujet. Le rapport avait pour objectif secondaire de sensibiliser davantage l'industrie à la question des vibrations globales du corps.

Les valeurs efficaces d'accélération enregistrées étaient constamment plus élevées que les limites acceptables recommandées par la norme ISO 2631, peu importe les conditions de fonctionnement, la configuration de la machine, et le type de siège. Les valeurs suivant l'axe des z étaient généralement prépondérantes par rapport aux niveaux suivant l'axe des x et l'axe des y, mais aucun des axes ne donnait de résultats satisfaisants. Par ailleurs, les facteurs de crête observés indiquent que les charges d'impact occasionnelles subies par le corps humain dépassent les limites maximales fixées par l'ISO. Tout laisse croire que les opérateurs de débusqueurs comptent parmi les opérateurs de machinerie lourde dont l'environnement présente les risques de vibrations globales du corps les plus sévères. Le seul élément positif vient de ce que les opérateurs ne sont exposés à ces niveaux de vibration élevés que durant de courtes périodes de temps. Toutefois ces périodes s'additionnent les unes aux autres et représentent en fin de compte de 40 à 70% du temps quotidien de travail.

On ne saisit pas encore entièrement l'influence du facteur d'intermittence sur la dose globale d'exposition, et le monde scientifique n'est pas encore tombé d'accord sur ses effets. Cependant, c'est l'opinion de l'ISO et également celle des auteurs, qu'il peut exister un effet cumulatif. Il serait donc prudent de supposer que la fatigue, et peut-être quelque danger éventuel pour la santé, puisse résulter de ces accumulations de niveaux d'exposition élevés.

Pour des raisons à la fois sociales et économiques (par exemple, taux élevé de rotation, faible productivité des travailleurs, coûts élevés d'indemnisation), on devrait étudier la possibilité de trouver des moyens de réduire ces niveaux d'accélération. Puisque certains facteurs, comme le type de siège et l'ajout d'un coussin de siège, semblent affecter les niveaux de vibration, on peut espérer l'adoption d'améliorations temporaires en attendant que les fabricants de machines s'attaquent au problème complexe de remanier le dessin des cabines pour réduire les niveaux des vibrations globales du corps. Ces améliorations éventuelles feront l'objet de recherches futures de FERIC dans ce domaine. Elles ne pourront cependant apporter qu'une solution partielle.

BIBLIOGRAPHIE

- Demirjian, A. 1980. Rapport d'anthropométrie: taille, poids et mesures corporelles. Un rapport de Nutrition Canada, Ottawa. 134 p.
- Hope, P.A. 1985. A human factors analysis of skidder operations in Northern Ontario: A preliminary investigation. M.Sc. Thesis, Univ. of Guelph, Guelph, Ont. 126 p.
- Imrie, D. 1986. Think Back!, OH & S Canada, 2 (3): 16-20, 66.
- ISO (Organisation internationale de normalisation), 1978. Estimation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. Norme 2631, 2^e édition. 15 p.
- Kyeong, U.K.; Hoag, D.L.; Hunt, D.R. 1985. Ride simulation of passive, active, and semi-active seat suspensions for off-road vehicles. ASAE Trans., 28: 56-64.
- Le Borgne D. 1984. Les vibrations au travail. Institut de recherche appliquée sur le travail, Montréal, Québec. Bull. 25. 80 p.
- Mellgren, P.G. 1980. Classification du terrain pour la foresterie du Canada. L'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, Montréal, Québec. W.S.I. 2840. 13 p.
- Pope, M.H.; Wilder, D.G.; Frymoyer, J.W. 1980. Vibration as an aetiologic factor in low-back pain. Institution of Mechanical Engineers, London, England. Publ. C121/80. 7 p.
- Pope, M.H.; Frymoyer, J.W. 1986. The mechanics of low-back pain. Mech. Eng., 108 (3):58-63.
- Roure, L.; Tisserand, M. 1974. Vibrations des engins de chantier. Institut National de Recherche et de Sécurité. Cahiers de Notes Documentaires, No.74, 1er trimestre, 15-37.
- Troup, J.D.G. 1978. Driver's back pain and its prevention. A review of the postural, vibratory and muscular factors, together with the problem of transmitted road-shock. Appl. Ergon., 9(4): 207-214.
- von Gierke, H.E.; Goldman, D.E. 1976. Effects of shock and vibration on man. In Harris, C.M. and Crede, C.E. Shock and Vibration Control Handbook. Rev. ed. 1976. P&RB. McGraw.
- Wilson, J.N. 1984. Personal communication. Dept. Mech. Eng. Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, Sask.

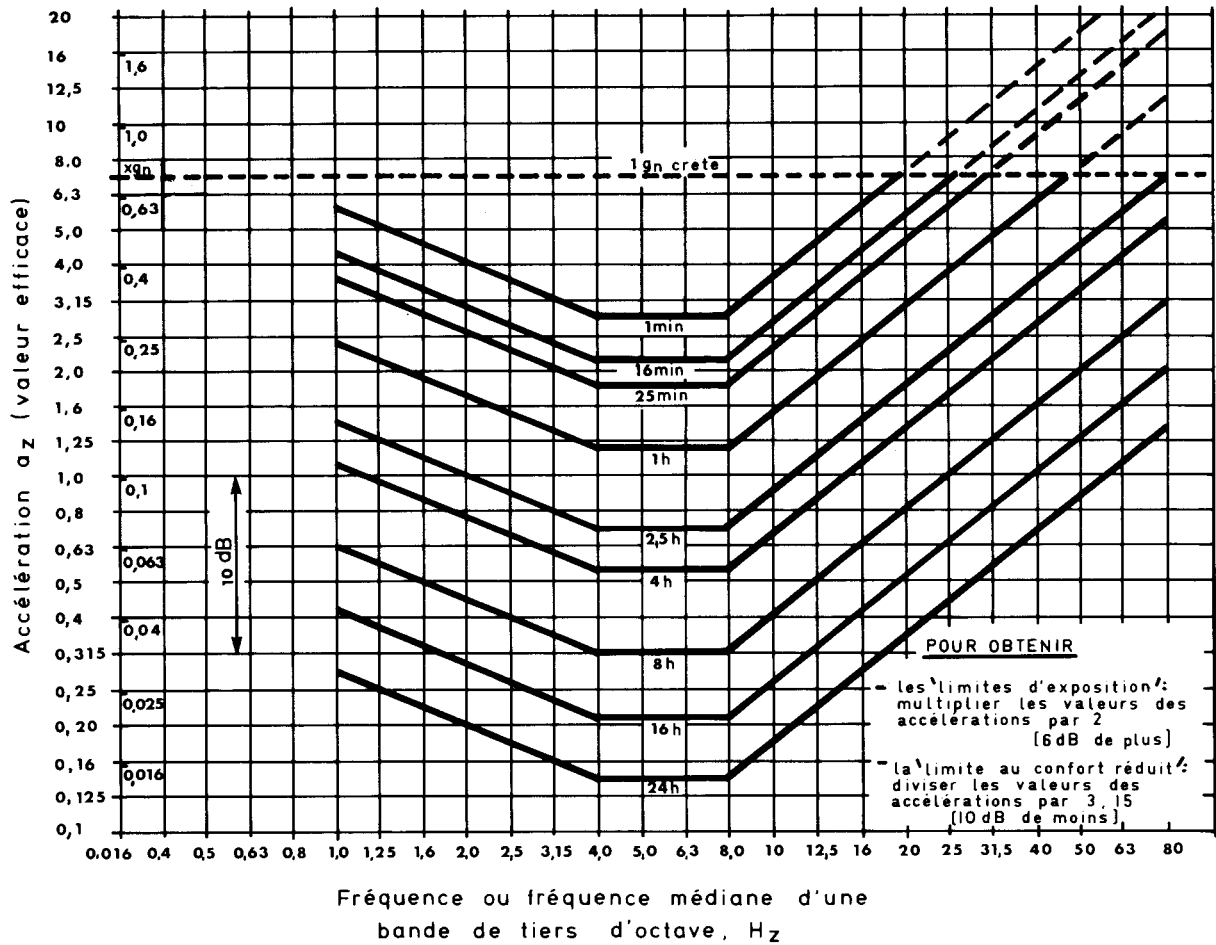
LECTURES CHOISIES

- Griffin, M.J. 1978. The evaluation of vehicle vibration and seats. Appl. Ergon., 9.1, 15-21.
- Leland, P.W.; Yoerger, R.R. 1974. Dynamic response of a prime mover to random inputs. ASAE trans., Paper No. 72-613.
- Manabu, S.; Kurata, K. 1975. Seat height of farm machinery affects operator comfort. ASAE Trans., 18: 14-19.
- Matthews, J. 1983. Ergonomics and farm machinery. J. Soc. Occup. Med., 33, 126-136.
- Meister, A.; Bräuer, D.; Kurerov, N.N.; Metz, A.-M.; Mucke, R.; Rothe, R.; Seidel, H.; Starozuk, I.A.; Suvorof, G.A. 1984. Evaluation of responses of broad-band whole-body vibration. Ergon., 27(9): 959-980.
- Seidel, H.; Bastek, R.; Bräuer, D.; Buchholz, Ch.; Meister, A., Metz, A.-M.; Rothe, R. 1980. On human response to prolonged repeated whole-body vibration. Ergon., 23(3): 191-211.
- Wilder, D.G.; Woodworth, B.B.; Frymoyer, J.W.; Pope, M.H. 1982. Vibration and the human spine. Spine, 7(3):243-264.

ANNEXE A1

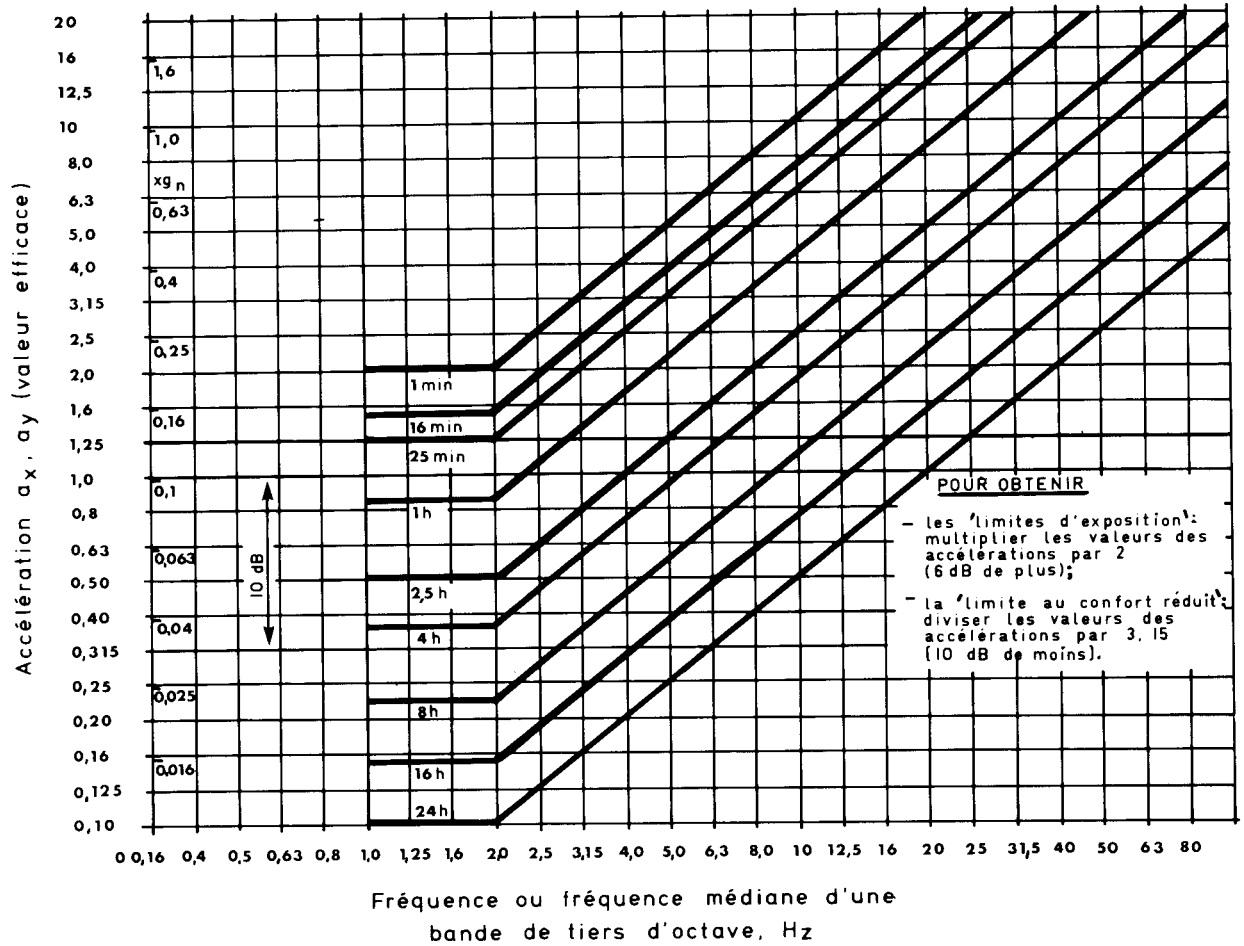
LIMITES À LA CAPACITÉ RÉDUITE PAR FATIGUE,
TELLES QUE DÉFINIES PAR ISO 2631

Direction longitudinale (axe des z)



ANNEXE A2

Plan transversal (axes des x et des y)



ANNEXE B

FACTEURS DE PONDÉRATION (*)

Facteurs de pondération relatifs à la gamme des fréquences de sensibilité maximale à l'accélération¹

Fréquence (Fréquence médiane d'une bande de tiers d'octave) Hz	Facteur de pondération pour	
	les vibrations longitudinales (z)	les vibrations transversales (x et y)
1,0	0,50 = - 6 dB	1,00 = 0 dB
1,25	0,56 = - 5 dB	1,00 = 0 dB
1,6	0,63 = - 4 dB	1,00 = 0 dB
2,0	0,71 = - 3 dB	1,00 = 0 dB
2,5	0,80 = - 2 dB	0,80 = - 2 dB
3,15	0,90 = - 1 dB	0,63 = - 4 dB
4,0	1,00 = 0 dB	0,50 = - 6 dB
5,0	1,00 = 0 dB	0,40 = - 8 dB
6,3	1,00 = 0 dB	0,315 = -10 dB
8,0	1,00 = 0 dB	0,25 = -12 dB
10,0	0,80 = - 2 dB	0,20 = -14 dB
12,5	0,63 = - 4 dB	0,16 = -16 dB
16,0	0,50 = - 6 dB	0,125 = -18 dB
20,0	0,40 = - 8 dB	0,10 = -20 dB
25,0	0,315 = -10 dB	0,08 = -22 dB
31,5	0,25 = -12 dB	0,063 = -24 dB
40,0	0,20 = -14 dB	0,050 = -26 dB
50,0	0,16 = -16 dB	0,040 = -28 dB
63,0	0,125 = -18 dB	0,0315 = -30 dB
80,0	0,10 = -20 dB	0,025 = -32 dB

¹ De 4 à 8 Hz dans le cas d'une vibration $\pm a_z$ et de 1 à 2 Hz dans le cas d'une vibration $\pm a_x$ ou $\pm a_y$.

(*) D'après ISO 2631, seconde édition, 1978.

ANNEXE C

VALEURS EFFICACES D'ACCÉLÉRATION PONDÉRÉES PAR GROUPE DE MACHINES

Groupe de machines	Paramètres Statistiques		DV			DC			EP		
			X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	n*		4	4	4	3	3	3	1	1	1
Débusqueurs à pince	Niveau d'accélération m/s ²	moyenne	0,56	0,60	0,72	0,62	0,65	0,81	0,51	0,41	0,61
		écart-type	0,12	0,09	0,18	0,05	0,11	0,05	-	-	-
		variation	0,45-0,64	0,50-0,70	0,55-0,93	0,61-0,68	0,58-0,78	0,78-0,86	-	-	-
2	n		9	9	9	5	5	5	3	3	3
Débusqueurs à câble, siège rigide	Niveau d'accélération m/s ²	moyenne	0,85	0,96	1,32	0,65	0,87	1,16	0,70	0,59	1,30
		écart-type	0,17	0,36	0,42	0,35	0,48	0,64	0,56	0,42	0,85
		variation	0,54-1,14	0,68-1,53	0,76-2,11	0,38-1,24	0,41-1,60	0,32-2,02	0,08-1,17	0,24-1,06	0,50-2,19
3	n		9	9	9	9	9	9	4	4	4
Débusqueurs à câble, siège à susp.	Niveau d'accélération m/s ²	moyenne	0,74	0,79	1,17	0,45	0,62	0,89	0,42	0,43	0,49
		écart-type	0,24	0,21	0,41	0,12	0,25	0,35	0,07	0,18	0,18
		variation	0,42-1,08	0,33-1,09	0,47-1,68	0,30-0,67	0,33-0,87	0,32-1,46	0,35-0,51	0,24-0,64	0,31-0,73

* n = nombre d'échantillons

ANNEXE D

TABLE DE CONVERSION

1 centimètre (cm)	=	0.39 po
1 mètre (m)	=	3.28 pi
1 kilogramme (kg)	=	2.20 livres (masse)
1 kilowatt (kW)	=	1.34 hp
1 g = 9,81 m/s ²	=	386 po/s ² = 32 pi/s ²