REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Hygiène et sécurité Industrielle
Spécialité : Hygiène et sécurité Industrielle

Protection d'un opérateur contre les vibrations dans un milieu industriel

---

Présenté par :

BOUHELLA Nabila

MOULESMARA Obeida

Proposé et Dirigé par :

Dr. SAADAT Boulanouar

Promotion 2020

Remercîments

En préambule à ce mémoire, nous souhaiterions adresser nos remerciements à ALLAH tout puisant de nous avoir alloué la force, la patience et nous avoir conduits vers la bonne voie permettant d'établir modeste travail.

Nous adressons nos remerciements, en premier lieu, notre encadreur

Dr ***SAADAT Boulanouar*** pour ses suggestions pour la réalisation de ce mémoire.

Il nous est opportun de remercier également tous les enseignants du département Génie des Procédés et de l'Environnement qui ont assuré notre formation durant tout le cycle d'étude.

L'en remercie aussi les membres du jury qui nous ont honorés pour leur participation et leur intérêt pour le mémoire.

Enfin, ces remerciements ne peuvent se terminer sans remercier nos familles, nos amis, de près comme de loin, pour leur aide et leurs encouragements.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mon cher père ***Mohamed****, qui m'a doté d'une éducation digne par ses sacrifices, son éternel amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

A la plus douce maman ***MOULESMARA Hafidha,*** *pour sa tendresse, et qui n'a cessé de prier tout au long de mes études.*

*Mes deux frères qui n'ont jamais cessé de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs****, Med Seddik****, pour son soutien matériel et moral, et* ***Hichem*** *qui m'a soutenu spirituellement et me supporté dans les moments difficiles, et à sa femme* ***Ghalia.***

A ma rose blanche, ma sœur d'une autre mère ***Samia.***

A mes chères copines ***Sihem, Affef****,* ***Selma*** *,* ***Samira, Narimen*** *et* ***Meriem***

A mon cousin et binôme, ***Zakaria Obeida.***

A toute la promotion ***HSI 2020***

Nabila

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ***Mohamed*** *et* ***BABI Fouzia****, pour leur amour et encouragement*

À mes petit frère ***Hamza*** *et ma sœur* ***Omaima****, sans eux la vie aucun ne sens*

A ma binôme et cousine ***Nabila***

A Steven et KLIKA

Zakaria

ملخص

خلال هذا الموضوع درسنا المحاور الرئيسية للظاهرة الاهتزازية المرتبطة بأي جهاز أو آلة في مكان العمل من خلال تحديد الأمراض المهنية التي يمكن أن تصيب العمال المعرضين لها بشكل منتظم. في النهاية لدينا بعض المقترحات لحماية المشغل أو تقليل المخاطر المهنية بسبب الاهتزازات .

الكلمات المفتاحية:

الاهتزازات ، مكان العمل ، المشغل ، الأمراض المهنية ، الحماية

Résumé:

Au cours de ce sujet, nous avons étudiés les principaux axes du phénomène vibratoire liés à tout équipement ou engin dans les lieux de travail en identifiant les maladies professionnelles qui peuvent affecter les travailleurs y exposés régulièrement. Au final nous avons quelques propositions pour la protection de l'opérateur ou la diminution du risque professionnel du aux vibrations.

Mots clés:

Les vibrations, le lieu de travail, opérateur, les maladies professionnelles, la protection.

Abstract:

During this topic, we studied the main axes of the vibratory phenomenon related to any equipment or machine in the workplace by identifying the occupational diseases that can affect workers exposed to it regularly. In the end we have some proposals for the protection of the operator or the reduction of the occupational risk due to vibrations .

Keywords:

Vibration, workplace, operator, occupational diseases, protection.

.

Liste des tableaux et schémas

N°	Titre	Page
(I.1)	Activités provoquant des effets nocifs à l'ensemble du corps dus aux vibrations……	8
(I.2)	Echelle de classification des symptômes vasculaires selon l'atelier de Stockholm……	12
(I.3)	Evaluation des risques sur le plan neurosensoriel……	13
(I.4)	Stade des symptômes des vibrations main bras……	13
(II.1)	Système de feux tricolores……	31
(III.1)	Protocole d'action après l'évaluation de m'exposition……	38

Liste des figures

N°	Titre	Page
I.1	Représentation graphique de la fréquence et la période d'une vibration en fonction du temps……	4
I.2	Evolution de la courbe de pondération en fonction de la fréquence……	4
I.3	Représentation graphique de l'amplitude d'une vibration en fonction du temps…….	5
I.4	Les axes de propagation des vibrations…….....	5
I.5	Conducteur sur un chariot élévateur……..	6
I.6	Opérateur avec un marteau piqueur ……..	7
I.7	Exemples de machines générant des vibrations affectent le système main bras……	9
I.8	Inflammation du tendon…….	10
I.9	La contracture de Dupuytrens …….....	10
I.10	Syndrome de Raynaud ….....	11
I.11	Photo représentative de syndrome du canal carpien……..	13
I.12	Siège de la douleur en fonction de la pathologie……...	16
I.13	Hernie discale de la pression sur le nerf ……...	17
II.1	VLE et VDA pour le corps……	20
II.2	VLE et VDA pour main bras…….	20
II.3	Exemple la durée totale d'exposition est de 7h30……	23
II.4	les axes orthogonaux de l'accélération…….....	23
II.5	Exemples d'amplitudes des vibrations pour des véhicules courants….	25
II.6	les axes de mesures de l'accélération pondérée……	30
II.7	Exemple d'amplitude des vibrations pour des machines courantes…..	32
III.1	Meuleuse équipée de poignées suspendues……	30
III.2	Gants anti vibratiles…….....	41
III.3	Exemple de poignées chauffantes……	42
III.4	La réduction des vibrations est l'affaire de tous : du fabricant, de l'employeur, de l'opérateur et de la maintenance….....	44
III.5	Siège d'un engin et ses réglages, permettant de diminuer la transmission des vibrations au conducteur……	45

III.6 Régler un siège à son poids, c'est ajuster la suspension du siège au milieu de sa cours……... 47
III.7 Rouler sur un sol inégal provoque des vibrations importantes…….. 48
III.8 Exemple d'un convoyeur dans un milieu industriel……... 49

Liste des abréviations

VLE	Valeurs limites d'exposition
VDA	Valeur déclenchant action de prévention
CE	Comité européenne
EPI SN	Stade neurologique
TMS	Trouble musclesquelletique.
Tr	Tour
MP	Maladie professionnelle
RG	Régime générale
EPI	Équipement de protection individuel
UE	Union européen

Tables des matières

Remercîment.

Dédicace.

Résumé.

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Liste des abréviations.

Introduction générale……..... 1

Chapitre I : Généralités sur les vibrations mécaniques et les risques professionnels provoqués

I.1 introduction…… 3

I.2.Qu'est-ce qu'une *vibration*…… 3

I.3.Les caractéristiques d'une vibration…… 4

I.4.L'origine des vibrations mécaniques…… 6

I .5. Les modes d'exposition des opérateurs aux vibrations…….. 6

I .5. A/Domaines d'activité et personnes concernées ……..... 7

I.6 .1/ Les risques professionnels liés au système main bras …….. 9

I.6.1 A. /Troubles musculosquelettiques (TMS) : basse fréquence ≤60H…….. 9

I.6.1. B/ Les troubles vasculaires : moyenne fréquences (60-200 Hz) 10

I.6.1.B.a) Évaluation sur le plan vasculaire …….. 12

I.6.1. C/Les troubles neurologiques : haute fréquence ≥ 200 Hz …… 12

I.6.1.b) Évaluation sur le plan neurosensoriel …… 13

I.6.2/ les risques professionnels des vibrations sur le corps entier …… 14

I.6.2. A / Comment les vibrations sont-elles transmises au corps entier …… 14

I.6.2. B/ Principaux facteurs de risque …… 14

I.6.2. C/ Existe-il une norme concernant les valeurs d'accélérations provoquant des maux pour le dos ?..... 15

II.3.2. D/ Effets possibles sur la santé …… 15

I.6.2. E/ Situations de travail augmentent les risques de lombalgie …… 17

I .7.*Conclusion* …… 17

Chapitre II : Évaluation de l'exposition aux vibrations mécaniques

II.1. Introduction …… 20

II.2./Les valeurs limites d'exposition …… 20

II.2.a/Obligations de l'employeur …… 21

II. 3. Evaluation du risque vibratoire :…… 21

II .3. A/ Evaluation des risques liés aux vibrations globales du corps …… 21

II.3. A. a/Déterminer la durée d'exposition …… 22

II.A .b/Déterminer l'amplitude des vibrations …… 23

II.3.A .c/Calcul des expositions journalières aux vibrations A (8)…… 26

II. 3. B/ Évaluation des risques liés aux vibrations mains-bras …… 28

II. 3. B/a Déterminer la durée d'exposition …… 29

II.3.B/b Déterminer l'amplitude des vibrations…… 29

II .3. B. c/Calcul l'exposition journalière aux vibrations …… 33

II .4Conclusion …… 35

Chapitre III : Les mesures de prévention contre les vibrations.

III.1.Introduction …… 37

III. 2. Les acteurs de la Prévention des Risques Professionnels…. 37

III.3.Partie 1 : Les mesures de prévention contre les vibrations liées au système main-bras …… 39

III.3.1. A/ Réduction des vibrations par modification de la tache..... 39

III.3.1. B/ Réduction des vibrations par le choix de machines peu vibrantes…… 39

III.3.1.B. a /Achat de machines peu vibrantes …… 39

III.3.1.B. b /Choix des systèmes antivibratoires …… 39

III.3.1.B. c /Réduction des forces exercées par les opérateurs …… 40

III.3.1.B. d /Maintenance des machines et des outils associés …….. 40

III.3.1. C/ Protection individuelle ……. 40

III.3.1.C. a / Gants anti vibratiles ……..... 41

III.3.1.C. b / Protection contre le froid …… 41

III.3.1. D / Réduire la durée d'exposition ……. 42

III.3.1.E/ Information et formation des opérateurs …… 43

III.3.Partie 2 : Les mesures de prévention contre les vibrations liées au corps 44

entier ……
III.3.2. A/Choix des équipements…….. 44
III.3.2. B/démarche d'achat ou de location…….. 44
III.3.2. C /Siège et poste de travail …… 45
III.3.2. D/ Organisation du travail …… 46
III.3.2. E/ Information et Formation des opérateurs ……. 46
III.3.2. F / Maintenance ……..... 47
III.3.2. J / Réduction des vibrations par l'entretenir les sols et surfaces de roulement …… 47
III.3.2. K/ Utilisation d'autres méthodes de travail …….. 48
III.4. Le Suivi médical …… 49
III.4. A/ Buts de la visite d'information et de prévention ……. 49
III.4. B/ Quand un suivi médical est-il nécessaire ? ……..... 50
III.4. C/ Que faire si l'on détecte une pathologie ?..... 50
III.4. D/ Les techniques pour le suivi médical ……..... 51
III.5.Conclusion …… 53
Conclusion générale…….. 55

Introduction générale.

Introduction générale

Au début du XIXe siècle, le monde a connu un développement considérable dans tous les domaines, qu'ils soient scientifiques, artistiques ou industriels

En nous concentrant sur le développement industriel pendant cette période, nous constaterons une augmentation du nombre de blessures sur les chantiers, et ceci est dû à l'absence d'une politique efficace de sécurité au travail

Mais avec le temps, la réalité industrielle a donné une grande importance à la sécurité des travailleurs en raison de la rigueur juridique et des amendes en cas d'accident du travail.

Les spécialistes de la protection des travailleurs ont une mission claire, qui est de limiter, d'éliminer et de réduire tous les risques possibles et d'activer des protocoles et des mesures préventives contre les risques

Les risques peuvent prendre des formes incalculables. L'une de ces formes est les risques mécaniques, et parmi ces risques mécaniques on trouve les vibrations.

Et comme l'industrie a connu un développement considérable ces dernières années, elle s'est accompagnée d'un développement parallèle dans l'industrie des machines, qui sont la source la plus importante du phénomène de vibration, d'où de nouvelles sources de vibrations. Ce phénomène s'est avéré dangereux par les nombreux dommages qu'il a causés et peut causer aux travailleurs.

Les scientifiques et spécialistes du domaine de la sécurité au travail et même les fabricants de machines de fabrication ont jugé leur professionnel obligatoire en étudiant et en analysant ce phénomène, qui leur posait un grand défi afin de limiter ou au moins réduire ses conséquences sur les travailleurs.

Dans notre humble mémo, nous tenterons de définir le phénomène des vibrations dans les milieux de travail, leurs spécificités, et là où nous pouvons les rencontrer.

Et aussi toutes les normes, lois et procédures que les personnes compétentes ont prises pour affronter ce phénomène et comment l'éviter et y faire face.

Pour mieux apprécier notre thème, nous allons essayer de traiter ce sujet en répondant aux questions suivantes :

Ou peut-on trouver les vibrations mécaniques ? Et quelles sont les risques professionnels dus à l'exposition d'un opérateur aux vibrations ?

Comment protéger un opérateur contre ses vibrations ?

A cet effet, notre travail se structure en trois chapitres présentés de la manière suivante :

- Le premier chapitre intitulé : généralités sur les vibrations mécaniques et les risques professionnels provoqués, d'un coté nous avons traités tous ce qui concerne une vibration : définition, caractéristiques et l'origine. D'un autre coté, quant à il, aborde les maladies et les effets causées par ces vibrations pour l'ensemble du corps et le système main bras.
- Le deuxième chapitre intitulé : évaluation de l'exposition aux vibrations mécaniques qui est réservé pour évaluation du risque en calculant la valeur de l'exposition quotidienne A(8) auquel l'opérateur s'est exposé.
- Dans le troisième chapitre s'est une approche sous le titre : des mesures de prévention contre les vibrations, nous présenterons toutes les mesures, méthodes et moyens pour protéger la santé physique de l'opérateur ou réduire l'exposition.

Une conclusion générale viendra enfin clore ce travail, résumant ce que cette étude a montré.

Chapitre I :

Généralités sur les vibrations mécaniques et les risques professionnels engendrés

I .1 Introduction :

Les phénomènes vibratoires jouent un rôle déterminant dans presque toutes les branches de la physique : mécanique, électrique, optique, acoustique, et malgré leur grande diversité, ils sont régis, en tout cas dans le domaine linaire, par les mêmes lois de comportement et peuvent être étudiés au moyen du même outil mathématique. L'homme s'est intéressé aux phénomènes vibratoires lorsqu'il est y exposé.

I .2.Qu'est- ce qu'une vibration ?

Une vibration est un mouvement (oscillation) d'aller-retour causé par un objet tel qu'un outil, une machine ou de l'équipement autour d'une position d'équilibre stable ou d'une trajectoire moyenne, peut être forcée, libre ou amortie [1].

Certains objets vibrent de par leur conception, tels les marteaux-piqueurs et les machines à poncer, tandis que d'autres vibrent en raison d'une défectuosité ou d'un défaut de fonctionnement. Elle se propage aux personnes par tout point de contact, mais plus particulièrement par les mains, les pieds ou l'assise.

- Le mouvement est dit périodique s'il se répète, identique à lui même, à des intervalles de temps successifs de même durée T;
- L'intervalle de temps constant T est appelé période;
- Les variations du phénomène vibratoire considérées pendant la période T constituent une oscillation du phénomène [2].

Les vibrations existent sous différentes formes lorsqu'on s'intéresse au mouvement répétitif ou alternatif de la matière. On distingue plusieurs sortes de phénomènes vibratoires :

• Les vibrations mécaniques (mouvements des pièces d'une machine...)

• Les vibrations acoustiques (vibration des particules d'air, sons émis par les instruments de musique)

• Les vibrations électriques (déplacement des électrons dans un conducteur de courant…)

• Les vibrations magnétiques (mouvements dans un champ magnétique…)

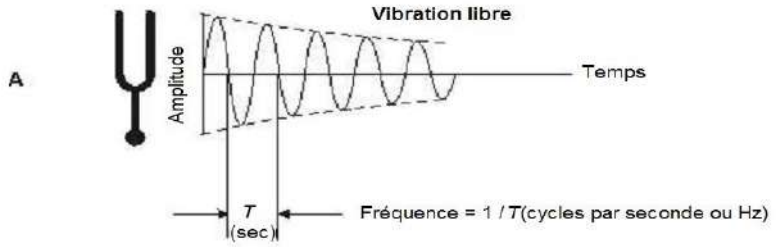
• Les vibrations électromagnétiques [3]

I .3. Les caractéristiques d'une vibration :

Une vibration est caractérisée par :

- **Sa fréquence :**

La fréquence correspond au nombre de fois que l'objet oscille pendant une seconde ou se déplace dans un sens puis dans l'autre. Le symbole de la fréquence est f. La fréquence est exprimée en Hertz (Hz).L'inverse de la période T



.

Figure (I.1) : représentation graphique de la fréquence d'une vibration en fonction du temps

Le risque de dommage n'est pas égal à toutes les fréquences, une pondération en fréquence du signal d'accélération (aw) est utilisée pour représenter la probabilité de dommage du à différentes fréquences. Globalement le risque et l'accélération pondérée diminuent quand la fréquence augmente.

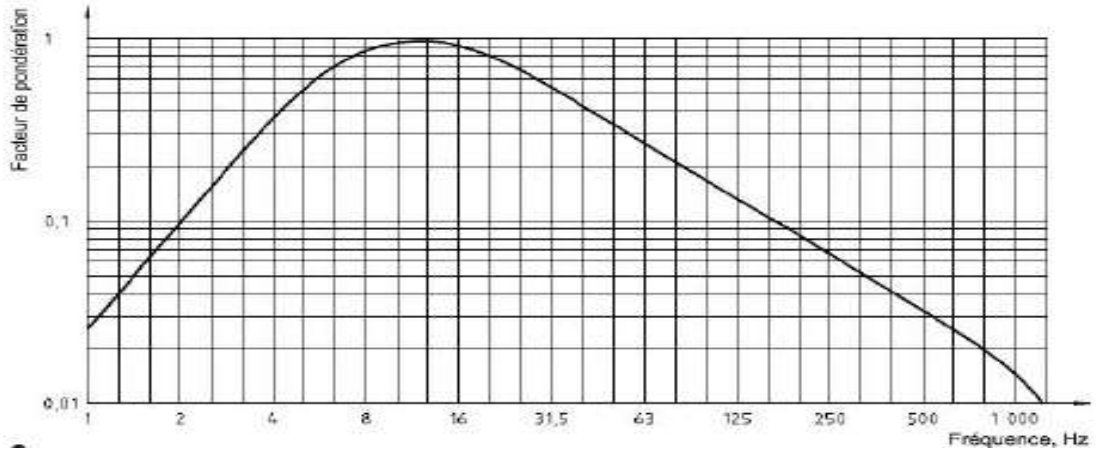


Figure (I.2) : évolution de la courbe de pondération en fonction de la fréquence

- **Son amplitude :**

L'amplitude est la distance comprise entre les positions extrêmes entre lesquelles se déplace l'objet vibrant, mesurée au niveau du siège d'un engin vibrant .Le capteur de vibrations doit mesurer les vibrations transmises à l'ensemble du corps sur les trois axes.

L'amplitude est exprimée en mètre (m).

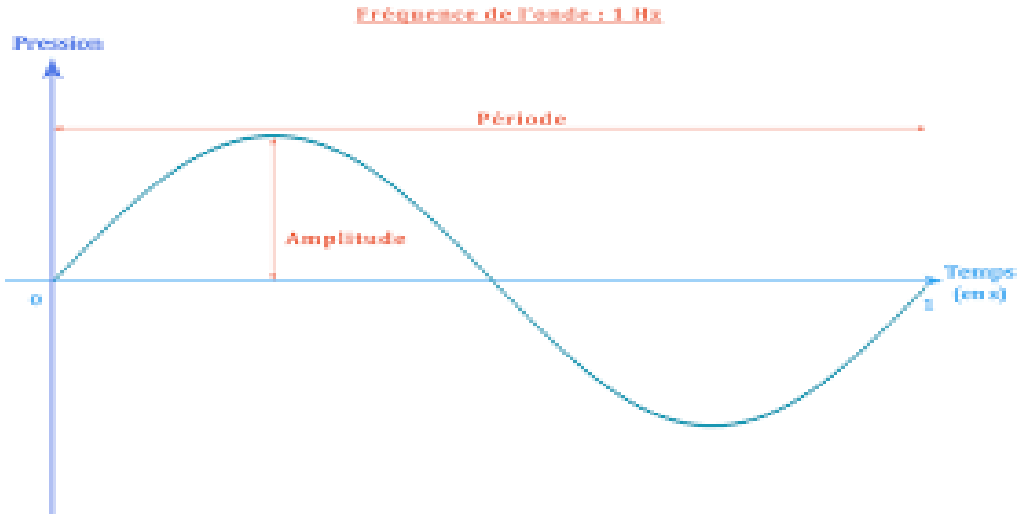


Figure (I.3) : représentation graphique de l'amplitude d'une vibration en fonction du temps.

- **Son accélération :**

L'accélération se calcule en fonction de l'amplitude et de la fréquence du mouvement d'oscillation. Elle évolue proportionnellement avec ces deux facteurs. L'accélération est exprimée en m/s².

Exemple : Une meuleuse peut générer des vibrations avec une accélération de l'ordre de 7,5 m/s².

- **Ses directions de propagation :**

Les vibrations peuvent se propager selon trois axes de translation et trois axes de rotation. Dans le cas de personnes assises, les axes de translation sont l'axe *x* (avant-arrière), l'axe *y* (latéral) et l'axe *z* (vertical). Les rotations autour des axes *x*, *y* et *z* sont désignées par r_x (roulis), r_y (tangage) et r_z (lacet). Les vibrations sont mesurées d'ordinaire aux interfaces entre le corps et l'élément vibrant



Figure (I.4) : les axes de propagation des vibrations.

- **Sa durée d'exposition :**

Les réactions de l'organisme aux vibrations dépendent de la durée totale de l'exposition. Un simple chronomètre suffit dans ce cas pour déterminer la durée de l'exposition [4]

I .4. L'origine des vibrations mécaniques :

Les vibrations mécaniques ont principalement pour origine :

- les moteurs du matériel, des véhicules et engins,
- le roulement des véhicules et engins sur le sol,
- la percussion (marteaux-piqueurs, perforateurs...),
- le phénomène de résonance (lors du contact avec le matériau ou la pièce à façonner),
- la fixation de l'outil ou à son balourd [5]

I .5. Les modes d'exposition des opérateurs aux vibrations

Dans le monde de travail on distingue deux modes d'exposition :

- Les vibrations transmises à l'ensemble du corps se produisent lorsque le corps est soutenu par une surface vibrante, par exemple lorsque le sujet est assis sur un siège vibrant, debout sur un sol vibrant, ou couché sur une surface vibrante. Ce type de vibrations se rencontre dans tous les moyens de transport et dans les travaux effectués à proximité de certaines installations industrielles.



Figure (I.5) : conducteur d'un chariot élévateur.

Vibrations main-bras *:* Il s'agit des vibrations transmises au corps par la main ou les mains. Elles ont pour origine divers travaux de l'industrie, de l'agriculture, des mines et de la

construction mettant en œuvre des pièces ou des machines vibrantes tenues ou guidées avec les doigts ou les mains. L'exposition aux vibrations main-bras peut entraîner l'apparition de nombreuses pathologies [6].

De nombreuses machines portatives tenues ou guidés à la main, génèrent des vibrations. Pour certains, les niveaux vibratoires peuvent être élevés ; brise-béton, clés à chocs, meuleuses, ponceuses, perforateurs, plaques vibrantes, tondeuses, cloueurs…

Par contact, ces vibrations sont appliquées dans la main et les bras de l'opérateur. Dans certains cas, elles sont transmises par le biais de la pièce travaillée lorsque celle-ci est tenue à la main



Figure (I.6) : opérateur avec un marteau piqueur.

I .5. A/Domaines d'activité et personnes concernées :

- pour l'ensemble du corps : Les expositions professionnelles aux vibrations transmises à l'ensemble du corps se rencontrent surtout dans les activités : d'agriculture, construction, foresterie, industrie minière et les transports. Les moyens de transport terrestres, maritimes et aériens peuvent tous engendrer des vibrations susceptibles d'occasionner de l'inconfort, de gêner les activités, voire d'être la cause de pathologies.

Voici un certain nombre d'activités particulièrement susceptibles de présenter un risque pour la santé :

Tableau (I.1) : Activités provoquant des effets nocifs à l'ensemble du corps dus aux Vibration.

Conduite de tracteurs
Véhicules de combat blindés (par exemple, chars) et véhicules similaires
Autres véhicules tout-terrain : • Engins de terrassement : chargeuses, pelles mécaniques, bouteurs, niveleuses, scrapeurs, tombereaux, compacteurs • Machines forestières • Equipements de mines et de carrières • Chariots élévateurs
Conduite de certains camions (articulés ou non)
Conduite de certains autobus et tramways
Certains travaux sur bétonnières
Conduite de certains véhicules ferroviaires
Certaines utilisations de navires rapides
Certaines conditions de conduite de motocyclettes
Certaines conditions de conduite d'automobiles et de fourgons
Certaines activités sportives
Certains autres équipements industriels

✓ **Note** : Les expositions les plus courantes aux vibrations et aux chocs de forte amplitude se rencontrent dans les véhicules tous-terrains, tels qu'engins de terrassement, chariots de manutention ou tracteurs agricoles.

- Pour le système main-bras : Les expositions professionnelles aux vibrations transmises au système main bras se rencontrent surtout dans les activités de : construction, taille du diamant, fonderie, fabrication du meubles, industrie minière, industrie de sciage, sidérurgie, rivetage, tôlerie, taille de pierre, fabrication de chaussures…

  Les entreprises et personnes concernées sont celles qui utilisent des outils, des machines générant des vibrations :

  - Les outils tenus à la main : meuleuses, boulonneuses, perceuses…
  - Les machines tournantes : moteurs, tours, convoyeurs…

- Les machines à percussion : marteaux-piqueurs, presses, cisailles…

Une attention particulière doit être apportée aux personnes présentant des maladies ou des contre-indications à l'utilisation d'engins émettant des vibrations. [7]



Figure (I.7) : Exemples de machines génèrent des vibrations affectant le système main bras.

I.6 .1/ Les risques professionnels liés au système main bras :

Une exposition régulière et fréquente à un outil de travail hautement vibrant expose les mains et les bras des travailleurs à des troubles chroniques connus sous le nom de « syndrome des vibrations ».Le risque est présent dés que l'utilisation d'une machine portative, d'un outil ou d'un équipement hautement vibrant est régulière et fréquente.

Les symptômes se traduisent souvent par une douleur et une gêne fonctionnelle de la main et/ou des articulations du bras.

La gêne fonctionnelle de la main et/ou du bras constitue un facteur de risque supplémentaire dans l'apparition des accidents du travail.

I.6.1 A. /Troubles musculosquelettiques (TMS) : basse fréquence ≤60Hz :

Les salariés exposés de façon prolongée à des vibrations peuvent souffrir de faiblesse musculaire, de douleurs dans les mains et les bras accompagnées d'une diminution de leur force musculaire. Ces troubles ostèo articulaires sont observés chez les opérateurs effectuant régulièrement un travail impliquant des contraintes physiques élevées.

La présence d'arthrose du poignet et du coude, ainsi que le durcissement de tissus mous (hyper ossification) au niveau des fixations de tendons, le plus souvent du coude, ont été

observés chez des mineurs, des ouvriers de construction des routes et des opérateurs de machines à percussion dans la métallurgie

D'autres troubles liés au travail ont été observés chez les ouvriers exposés à des vibrations, comme l'inflammation des tendons et de leurs gaines dans les membres supérieurs, ainsi que la contracture de Dupuytrens, qui affecte les tissus faciaux de la paume de la main.

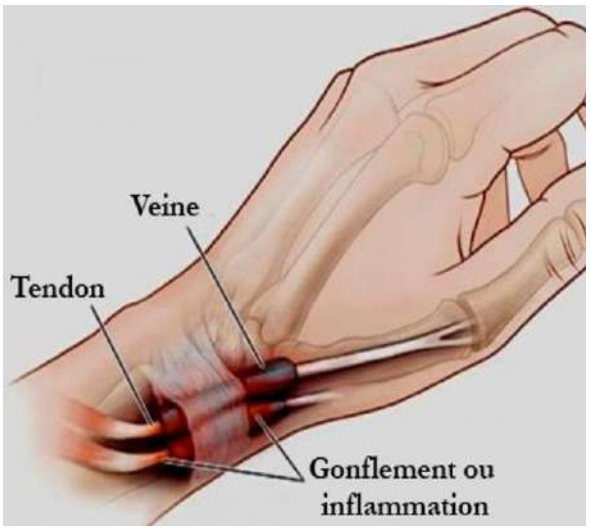


figure (I.8) : inflammation du tendon.



Figure (I.9) : la contracture de Dupuytrens.

I.6.1. B/ Les troubles vasculaires : moyenne fréquences (60-200 Hz) :

L'exposition aux vibrations transmises aux membres supérieurs peut provoquer l'apparition de troubles de la circulation sanguine au niveau des mains. Ces troubles se traduisent dans un premier temps par un blanchiment des doigts provoqué par l'arrêt momentané de la circulation sanguine en direction des doigts, qui peut se compliquer de douleurs, ou de troubles de la sensibilité. Différents termes sont employés pour décrire ces affections : doigts morts, doigts blancs, syndrome de Raynaud d'origine professionnelle…

Les troubles se manifestent plus fréquemment lors d'une exposition au froid. Ils débutent habituellement à l'extrémité d'un ou plusieurs doigts. Si l'exposition aux vibrations se poursuit, ils peuvent s'étendre à la base des doigts. Lorsque la circulation sanguine se rétablit normalement (favorisée par la chaleur ou un massage local), les doigts deviennent rouges et sont souvent douloureux. Ces troubles évoluent par crises qui peuvent durer de quelques minutes à plus d'une heure. L'ouvrier concerné ; pendant cette crise ; peut connaitre une perte complète de sensation tactile et de dextérité manuelle. [8]



Figure (I.10) : syndrome de Raynaud

L'échelle de l'atelier Stockholm est souvent utilisée pour qualifier l'état pathologique provoqué par le froid. Dans cette classification, les changements vasculaires (circulation sanguine) et les changements neurologiques (perception du toucher, de la chaleur, du froid, etc.) sont examinés séparément : [9]

a) Évaluation sur le plan vasculaire :

Tableau (I.2) : Échelle de classification de l'Atelier de Stockholm pour les symptômes vasculaires.

Stade	Degré	Description
0	Aucun	Aucun accès
1	Léger	Accès occasionnels atteignant seulement l'extrémité d'un ou de plusieurs doigts
2	modéré	Accès occasionnels atteignant l'extrémité et le milieu des doigts (phalanges distales et intermédiaires) et rarement la partie des doigts située près de la paume (phalanges proximales)
3	Grave	Accès fréquents atteignant toutes les parties de la plupart des doigts (toutes les phalanges)
4	très grave	Mêmes symptômes qu'au stade 3, accompagnés de modifications de la peau à l'extrémité des doigts

I.6.1. C/Les troubles neurologiques : haute fréquence ≥ 200 Hz :

Elles se manifestent par la perte de dextérité manuelle, la diminution tactile des doigts ou troubles sensitifs au niveau du pouce, de l'index, du majeur et de l'annulaire, des fourmillements dans les mains intermittentes ou persistantes.
Le syndrome du canal carpien est une compression du nerf médian sous le ligament carpien palmaire situé à la face antérieure du poignet : cette compression est responsable de fourmillements , des picotement ,dans le territoire du nerf pouvant aller jusqu'à la perte de force, d'engourdissements ou de douleurs pouvant irradier le long de l'avant-bras, jusqu'à l'épaule, et une sensation de décharge électrique aux extrémités des doigts concernés [10]

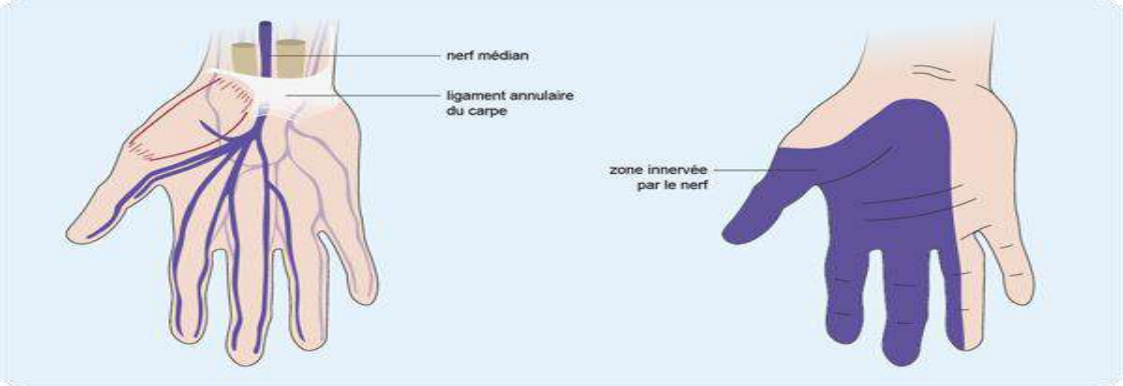


Figure (I.11) : photo représentative de syndrome du canal carpien.

b) Evaluation sur le plan neurosensoriel :

Tableau (I.3) : évaluation des risques sur le plan neurosensoriel selon l'échelle de l'Atelier de Stockholm.

Stade	**Symptômes**
OSN	Exposition aux vibrations, mais pas de symptômes
1SN	Engourdissement intermittent, avec ou sans picotement
2SN	Engourdissement intermittent ou persistant, diminution de perception sensorielle
3SN	Engourdissement intermittent ou persistant, diminution de discrimination tactile et/ou de dextérité manuelle

Tableau (I.4) : stade et symptômes des vibrations main bras. [11]

Stade	Description
Léger	Crises occasionnelles n'atteignant que l'extrémité d'un ou de plusieurs doigts
Grave	Crises occasionnelles atteignant l'extrémité et les articulations des doigts
Modéré	Crises fréquentes atteignant la plupart des doigts
Très grave	Mêmes symptômes qu'au stade grave, avec dégénérescence de la peau de l'extrémité des doigts

Tableau n°69 RG : Affections provoquées par les vibrations et chocs transmis par certaines machines-outils, outils et objets et par les chocs itératifs du talon de la main sur des éléments fixes (annexe)

I.6.2/ les risques professionnels des vibrations sur le corps entier :

La conduite régulière d'un véhicule ou d'un engin de chantier, de transport, de manutention ou de type agricole peut exposer les professionnels à des niveaux élevés de vibrations transmises à l'ensemble du corps, ces vibrations peuvent favoriser la survenue de douleurs au niveau du dos. Cette exposition aux vibrations, couplée à une position assise prolongée, permet de comprendre pourquoi tant de conducteurs d'engins sont exposés aux pathologies du rachis lombaire.

Les engins mobiles et les véhicules transmettent des vibrations. Pour certains, les niveaux vibratoires peuvent être élevés : tombereaux rigides et articulés, chargeuses, mini-engins, chariots tout terrain, tracteurs, chariots de manutention, transpalettes…

I.6.2. A / Comment les vibrations sont-elles transmises au corps entier ?

Les vibrations sont transmises au corps entier soit :

- ✓ Par les pieds : des opérateurs devant une machine reposant sur le sol.
- ✓ Par le siège des opérateurs conduisant des engins de chantier, des chariots élévateurs, ou certains poids lourds circulant sur une voie de roulement aménagé.
- ✓ Amplifiées si le sol est en mauvais état (irrégularités des surfaces de roulement [12]

I.6.2. B/ Principaux facteurs de risque :

Les douleurs dorsales et les pathologies du dos, du cou et des épaules liés aux vibrations peuvent être dues à différents facteurs :

- Station assise dans des postures contraignantes.
- Position assise prolongée.
- Torsion fréquente de la colonne vertébrale.
- Rotation ou inclinaison maintenue ou fréquente de la tête.
- Manutention manuelle fréquente
- Mouvements imprévus [13]

I.6.2. C/ Existe-il une norme concernant les valeurs d'accélérations provoquant des maux pour le dos ?

***La norme 2631-1 pour le dos* :** [14]

Les vibrations deviennent néfastes lorsqu'elles dépassent la norme prescrite ISO 2631-1 pour le corps entier (moins de 1 m/s ²).

Moins de 0.315 m/s²	Pas du tout inconfortable pour le dos
De 0.315 m/s² à 0.63m/s²	Légèrement inconfortable pour le dos
De 0.5m/s² à 1m/s²	Assez inconfortable pour le dos
De 0.8 m/s² à 1.6 m/s²	Inconfortable pour le dos
De 1.25 m/s² à 2.5 m/s²	Très inconfortable pour le dos
Plus de 2 m/s²	Extrêmement inconfortable pour le dos

Note :

- ✓ Les vibrations de très basses fréquences (inferieur à 1Hz) transmises à l'ensemble du corps peuvent provoquer un mal de transport.
- ✓ Les fréquences des vibrations dangereuses pour le corps entier sont comprises entre 2 et 10 Hz. C'est malheureusement aussi la fréquence habituelle des engins roulants.

II.3.2. D/ Effets possibles sur la santé :

- ➢ *À court terme :*

À court terme, les vibrations du corps causent des problèmes de :

- ✓ Inconfort.
- ✓ Diminution/perte de la coordination oculo-manuelle (dextérité).
- ✓ Fatigue visuelle.
- ✓ La fatigue, troubles gastriques, la céphalée.
- ✓ De perte d'équilibre et un « tremblement » peu de temps après ou pendant l'exposition.
- ✓ Gêner l'exécution des taches.
- ✓ Aggravation des pathologies dorsales préexistantes.

- À long terme :

Lorsque l'ensemble du corps est soumis à des vibrations de manière prolongée, cela peut provoquer des douleurs lombaires ou lombalgies, souvent intense, au niveau des Vertèbres lombaires, situées en bas du dos, des sciatiques par hernie discale L4-L5, ou L5-S1, une dégénérescence précoce de la colonne vertébrale, ainsi que des do leurs au niveau du cou et des épaules.

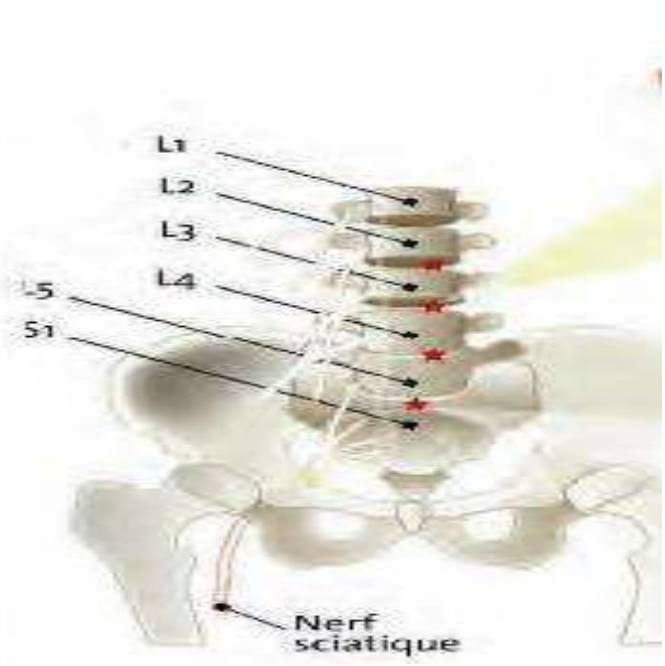


Figure (I.12) : siège de la douleur en fonction de la pathologie.

Plus l'organisme est soumis à des vibrations sur une longue période ; tandis que les périodes de repos réduisent ; plus les douleurs lombaires augmentent. La combinaison de la position assise prolongée et de l'exposition aux vibrations augmente le risque de troubles de la colonne vertébrale. De même, l'exposition de l'ensemble du corps à des vibrations de longue durée associée au port de charges fréquent, majore le risque de lombalgie [15]

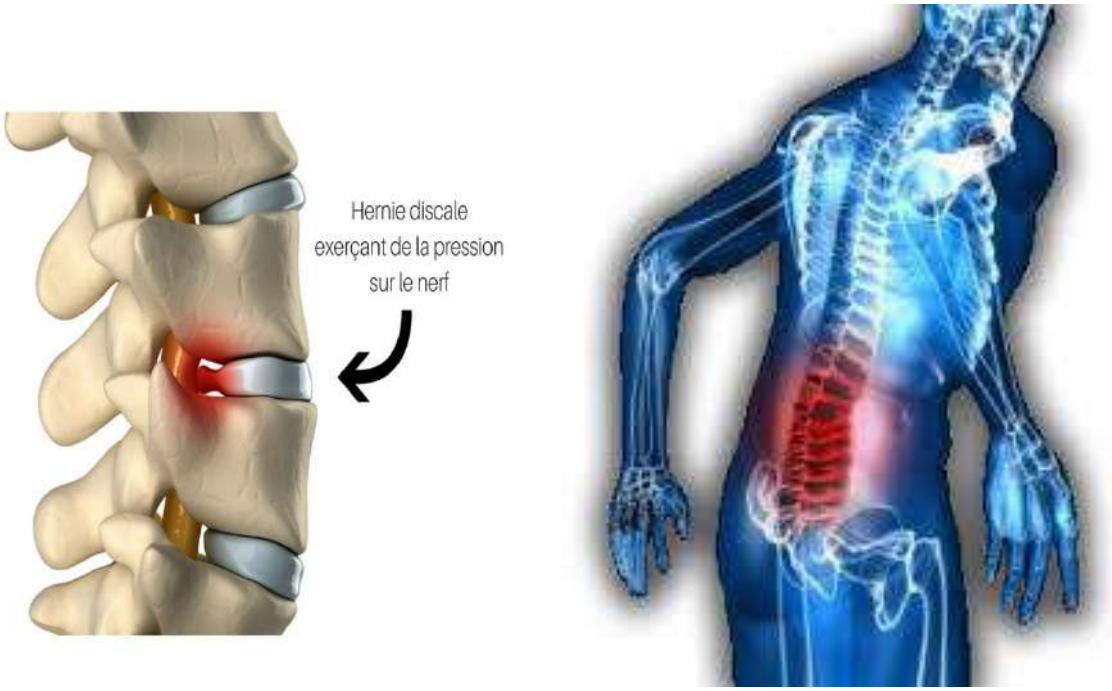


Figure I.1 : hernie discale de la pression sur le nerf

Tableau n°97 RG : Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par des vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier **(**annexe)

I.6.2. E/ Situations de travail augmentent les risques de lombalgie :

Certaines situations de travail exposant à des vibrations sont susceptibles d'augmenter les risques de lombalgie. Il s'agit des situations suivantes :

- ✓ Evolution sur un terrain irrégulier ou sur une surface dégradée, à une vitesse inadaptée.
- ✓ Utilisation d'un engin sur une surface inadaptée ou pour une tache pour laquelle il n'est pas conçu.
- ✓ Exposition régulière et de longue durée.
- ✓ Postures contraignantes fréquentes et/ou maintenues (angles de confort non respectés, torsion du buste…) dues au manque de visibilité, à l'inaccessibilité des commandes, au type de taches à réaliser…
- ✓ Vétusté, manque d'entretien de l'engin, mauvais état du siège (défaut d'entretien de la suspension, de l'assise et/ou des réglages).
- ✓ Mauvais réglage du siège (absence de formation du conducteur, mauvaise utilisation des réglages…).
- ✓ Montrée et descente fréquentes de l'engin.

- ✓ Manutention manuelle.
- ✓ Montée et descente répétées de l'engin. [16]

I .7.*Conclusion :*

Après avoir passé en revue les notions de base à propos des vibrations mécaniques, l'exposition à ces vibrations, nous concluons dans ce chapitre :

- ➢ Les vibrations mécaniques sont présentes dans presque tous les secteurs d'activités industriels.
- ➢ Les vibrations dus aux machines ou engins causent des maladies dites professionnelles pour le corps entier et le système main bras.

Chapitre II :

L'évaluation de l'exposition aux vibrations

II.1. Introduction :

Les vibrations émises par les machines et les engins peuvent nuire le corps entier et a la main auxquelles ils sont exposées régulièrement si elles dépassent un certain seuil ou limites fixé selon la réglementation.

Afin de pouvoir estimer jusqu'à quel point ces vibrations peuvent former un risque, et exercer le politique d'action de prévention, les employeurs doivent évaluer ce risque selon la durée et l'amplitude.

II.2./Les valeurs limites d'exposition :

Communauté Européenne : position commune n°26/2006 du 25 juin 2001 par le conseil : Deux valeurs sont fixées pour une exposition journalière protection des travailleurs exposés aux vibrations pour 8heures à ne pas dépasser en aucun cas.

- Les Valeurs Limites d'Exposition (VLE) : aucun agent ne doit travailler en présence de vibrations journalières rapportées à une période de référence de 8h de travail

- Les Valeurs d'Action (VA) **:** lorsque ces valeurs sont dépassées, l'autorité territoriale a l'obligation de déclencher des actions de prévention visant à réduire l'exposition des agents au risque vibratoire. [17]

- Pour l'ensemble du corps :

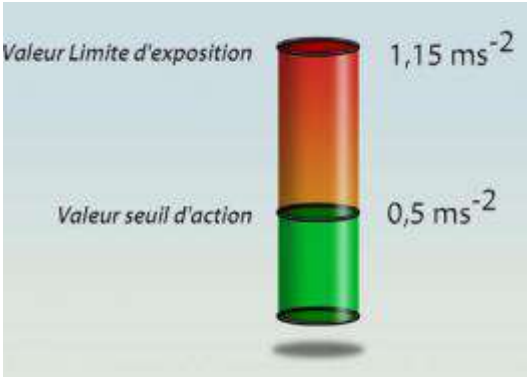


Figure (II.1) : VLE et VDA pour le corps

- Pour le système main-bras :

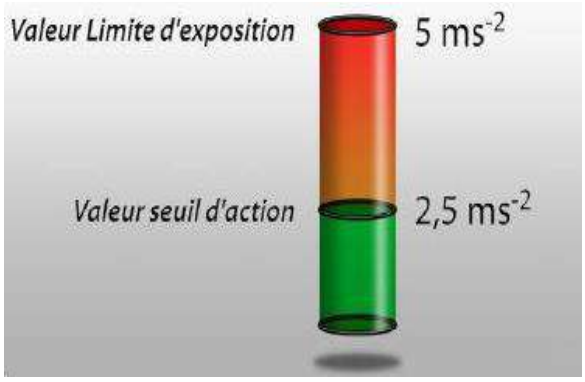


Figure (II.2) : VLE et VDA pour main bras

Plus l'accélération d'une vibration est élevée, plus le temps d'exposition doit être réduit.

II.2.a/Obligations de l'employeur :

L'employeur doit évaluer le niveau de vibrations auquel les travailleurs sont exposés. Pour cela, il peut se baser sur des valeurs connues pour des équipements de travail spécifiques.
Les fabricants d'équipements donnent dans leurs manuels d'instruction des indications sur les vibrations émises. Ces valeurs doivent être prises en compte lors de l'évaluation du niveau d'exposition.
L'employeur doit réaliser par écrit une analyse des risques décrivant les faits ayant une influence sur la santé et la sécurité du travail dû à l'exposition aux vibrations dont notamment :

· Une description du poste de travail,
· Le niveau de l'exposition (accélération),
· La durée de l'exposition,
· Les mesures prises pour diminuer le niveau et la durée de l'exposition,
· Les mesures prises pour protéger le travailleur.

Si une simple évaluation est difficile ou impossible, des mesures doivent être réalisées [18]

II. 3. Évaluation du risque vibratoire :

Le but de l'évaluation des risques liés aux vibrations globales du corps et au système mains-bras est de permettre aux employeurs de prendre des décisions valides quant aux mesures nécessaires pour empêcher ou maitriser correctement l'exposition des employés aux vibrations globales du corps et système mains-bras

L'évaluation des risques doit identifier s'il peut y avoir un risque dont des vibrations mains bras et du corps entier seraient la cause et en estime les expositions des employés et les comparer au seuil d'action d'exposition et à la valeur limite d'exposition

II .3. A/ Évaluations des risques liés aux vibrations globales du corps :

Voici une liste des questionnaires pour aider à évaluer la nécessité d'actions :

- Conduisez-vous en tout terrain ?

Des niveaux élevés des vibrations globales du corps sont plus probables chez les personnes qui conduisent des véhicules sur des surfaces irrégulières dans le cadre de leur travail.

- Conduisez-vous des machines vibrantes pendant longtemps chaque jour ?

La durée pendant laquelle la personne est exposée aux vibrations induit l'exposition

journalière, donc plus cette durée est longue, plus le risque de l'exposition sera grand.

- Conduisez-vous des véhicules non conçus pour l'état de la chaussée ?

Certains véhicules industriels comme les chariots élévateurs n'ont pas de suspension et sont équipés de pneumatiques pleins, afin de leur apporter la stabilité nécessaire à la sécurité. Si on les conduit sur une surface lisse, les niveaux de vibrations restent faibles. En revanche sur des surfaces non adaptées (par ex. un chariot élévateur conçu pour un entrepôt et employé dans une cour de chargement extérieure), ils peuvent générer des niveaux élevés de vibrations globales du corps

- Conduisez-vous des chaussées mal entretenues ?

La plus part des véhicules routiers (voitures, camionnettes) produisent des niveaux de vibrations globales du corps plutôt faibles si la chaussée est bien entretenues. Mais les véhicules dotés de suspensions moins efficaces, comme les camions à châssis rigide, peuvent induire des niveaux élevés de vibrations globales du corps, notamment sur des chaussées en mauvais état ou quand ils roulent à vide.

- Etes-vous exposé à des chocs (ou des secousses) ?

On estime que la plus grand risque lié aux vibrations provient d'une exposition à des vibrations consécutives à un choc. Ces vibrations peuvent apparaitre sur les mauvaises chaussées, si l'on conduit trop vite pour le terrain, ou si la suspension du siège est mal réglée.

- Les fabricants de la machine mettent-ils en garde contre un risque de vibrations globales du corps ?

Si vous utilisez une machine qui peut exposer les utilisateurs à un risque de blessures due à des vibrations, le fabricant doit vous en avertir dans le manuel.

II.3. A. a/Déterminer la durée d'exposition :

Avant de pouvoir estimer l'exposition journalière aux vibrations, il est nécessaire de connaître la durée journalière totale d'exposition (le temps) aux vibrations avec les véhicules utilisés (à l'aide d'un chronomètre).

Les emplois du temps doivent être examinés soigneusement. Figure (II.3)

Par exemple, certains employés n'utiliseront certaines machines qu'à certains moments de la journée. Des schémas d'utilisation typiques doivent être établis, car ils constituent un paramètre important dans le calcul de l'exposition probable d'une personne aux vibrations.

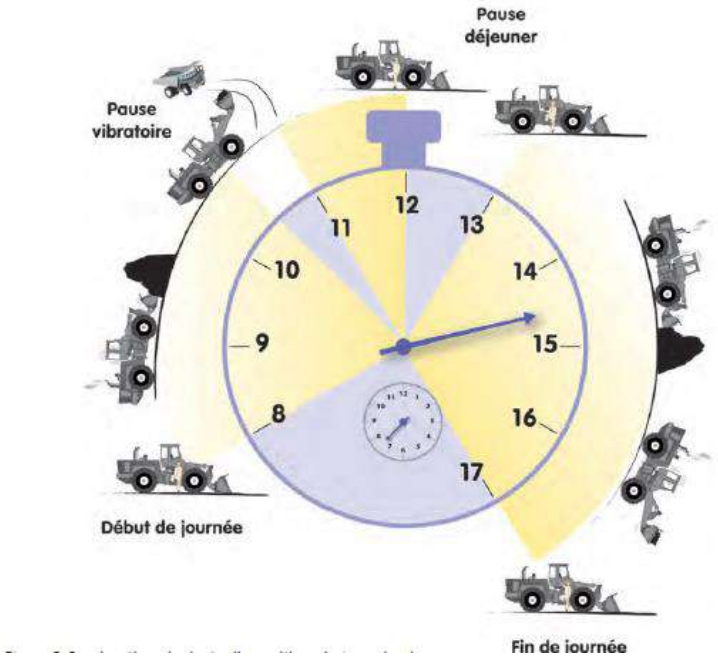
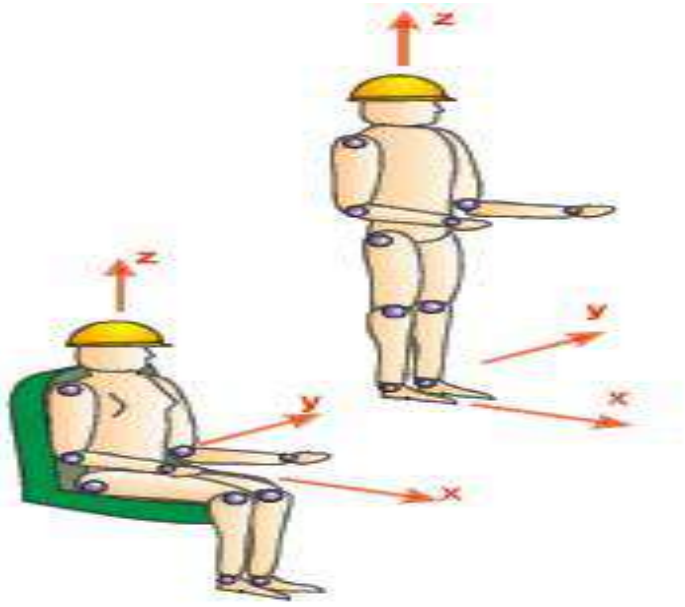


Figure (II.3) : Dans cet exemple la durée totale d'exposition est de 7h30.

II.A .b/Déterminer l'amplitude des vibrations :

L'amplitude des vibrations globales du corps est la valeur de l'accélération pondérée en fréquence sur **le plus fort** des trois axes orthogonaux ($1{,}4a_{wx}$, $1{,}4a_{wy}$ ou a_{wz}) pour un employé assis ou debout et même pour l'évaluation de l'exposition,



Figure(II.4) : les axes orthogonaux de l'accélération

La Directive Machines de l'Union européenne (Directive 98/37/EC) exige des fabricants, importateurs et fournisseurs de machines qu'ils fournissent des informations sur les risques vibratoires, ainsi que des valeurs des vibrations globales du corps émises par les machines mobiles

L'idéale méthode pour déterminer l'amplitude serait d'utiliser les données vibratoires de la machine (marque et modèle) que vous prévoyez d'utiliser comme la figure (II.5) représente

Il existe d'autres sources d'informations sur les amplitudes des vibrations, qui sont souvent suffisantes pour vous permettre de déterminer si le seuil d'action d'exposition ou la valeur limite d'exposition risque d'être dépassé(e)

Notamment des sites Web européens contiennent les données d'émissions de vibrations mesurées par les fabricants selon un code normalisé, ainsi que quelques valeurs mesurées "en usage réel" pour différentes machines

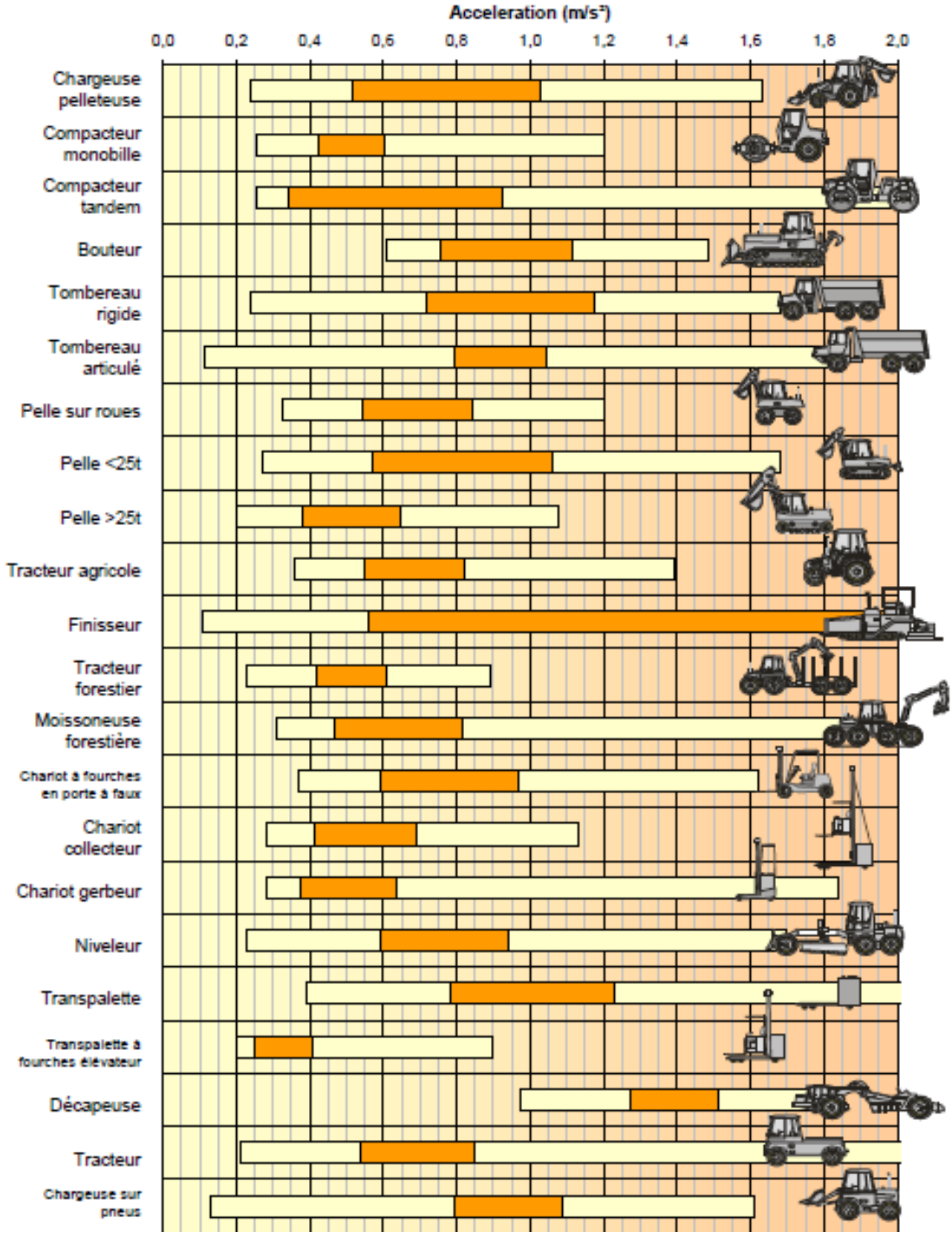


Figure (II.5) : Exemples d'amplitudes des vibrations pour des véhicules courants

II.3.A .c/Calcul des expositions journalières aux vibrations A (8) :

L'exposition journalière aux vibrations dépend à la fois du niveau des vibrations et de la durée d'exposition. Elle s'exprime en mètres par seconde au carré (m/s²).

❖ Dans le cas d'une seule tache :

- Etape 1 : déterminer les valeurs de l'accélération pondérée a_{wx}, a_{wy} et a_{wz} à partir des données du fabricant.
- Etape 2 : trouver les expositions journalières dans les trois directions x, y et z par :

$A_x(8)=1.4a_{wx}\sqrt{\frac{T}{T0}}$

$A_y(8)=1.4a_{wy}\sqrt{\frac{T}{T0}}$

$A_Z(8)=a_{wz}\sqrt{\frac{T}{T0}}$

Ou : T est la durée journalière d'exposition aux vibrations.

T_0 est la durée de référence de huit heures.

- Etape 3 : la plus grande valeur d'A_x (8), A_y(8) et A_Z(8) est l'exposition journalière aux vibrations

Exemple 1: Le conducteur d'une moissonneuse d'arbres conduit le véhicule 6½ heures par jour.

Étape 1: Les valeurs des vibrations sur le siège sont :

- axe x : 0,2 m/s²
- axe y : 0,4 m/s²
- axe z : 0,25 m/s²

Étape 2: Les expositions journalières sur les axes x, y et z valent alors :

$A_x(8) = 1.4 \times 0.2\sqrt{\frac{6.5}{8}} = 0.25m/s^2.$

$A_y(8) = 1.4 \times 0.4\sqrt{\frac{6.5}{8}} = 0.5m/s^2$

$A_z\,(8) = 0.25\sqrt{\frac{6.5}{8}} = 0.23m/s$

Étape 3: L'exposition journalière aux vibrations A(8) est la plus grande de ces valeurs. Ici, c'est l'axe y, donc 0,5m/s².

❖ Dans le cas de plusieurs taches :

- Etape1 : déterminer les valeurs de l'accélération pondérée 1.4 a_{wx}, 1.4a_{wy} et a_{wz} pour chaque tache ou véhicule à partit des données du fabricant.
- Etape 2 : pour chaque tache ou véhicule, trouver les expositions journalières partielles dans les trois directions x, y, et z par :

$A_{x,i}(8)=1.4a_{wx}\sqrt{\frac{T}{T0}}$ $A_{y,i}(8)=1.4a_{wy}\sqrt{\frac{T}{T0}}$ $A_{Z,i}(8)=a_{wz}\sqrt{\frac{T}{T0}}$

Ou : T est la durée journalière d'exposition aux vibrations.

T_0 est la durée de référence de huit heures.

- Etape 3 : pour chaque axe (j), l'exposition totale aux vibrations se calcule à partir des valeurs d'exposition partielles, suivant :

$A_j(8) = \sqrt{Aj1(8)^2 + Aj2(8)^2 + Aj3(8)^2 + \cdots}$

Ou : $A_{j1}(8)$, $A_{j2}(8)$, Aj3(8), etc, sont les valeurs d'exposition partielles pour les différentes sources de vibrations.

- Etape 4 : la plus grande valeur de A(8), A(8), et A(8) est l'exposition journalière aux vibrations. [19]

Exemple 2 : un chauffeur de livraison passe chaque jour 1 heure à charger son camion avec un petit chariot élévateur, puis 6 heures à conduire le camion.

Etape 1 : les valeurs de vibrations sur le siège sont :

Chariot élévateur	Camion de livraison
Axe x : 0.5m/s²	Axe x : 0.2m/s²
Axe y : 0.3m/s²	Axe y : 0.3m/s²
Axe z : 0.9m/s²	Axe z : 0.3m/s²

Etape 2 : les expositions journalières sur les axes x, y, et z valent alors :

Chariot élévateur	Camion de livraison
$A_{x\ chariot}(8)=1.4\times 0.5\sqrt{1/8}= 0.25m/s^2$	$A_{x\ camion}(8)=1.4\times 0.2\sqrt{6/8}=0.24m/s^2$
$A_{y\ chariot}(8)=1.4\times 0.3\sqrt{1/8} = 0.15m/s^2$	$A_{y\ camion}(8)=1.4\times 0.3\sqrt{6/8}=0.36m/s^2$
$A_{z\ chariot}(8)=0.9\sqrt{1/8} =0.32m/s^2$	$A_{z\ camion}(8)=0.3\sqrt{6/8} =0.26m/s^2$

Etape 3 : les expositions journalières totales sur chaque axe valent :

$A_x(8) = \sqrt{0.25^2 + 0.24^2} = 0.3m/s^2$.

$A_y(8)= \sqrt{0.15^2 + 0.36^2} = 0.4m/s^2$.

$A_z(8) = \sqrt{0.32^2 + 0.26^2} = 0.4m/s^2$.

Etape 4: l'exposition journalière totale du chauffeur à des vibrations totales du corps est la plus grade valeur A(8) soit $0.4m/s^2$ est juste en dessous de la valeur d'action.

L'incertitude sur l'évaluation de l'exposition aux vibrations dépend de nombreux facteurs tels que : l'instrument / incertitude sur le calibrage, ou la précision des sources de données (par exemple valeurs déclarées par le fabricant),

II. 3. B/ Evaluation des risques liés aux vibrations mains-bras :

.

Voici une liste des questionnaires pour aider à évaluer la nécessité d'actions :

- Utilisez-vous des machines rotatives (par ex. meuleuse, polisseuse) ?

Certaines machines rotatives peuvent dépasser le seuil d'action d'exposition en l'espace d'une demi-heure environ, donc il faudra certainement prendre des mesures si certains employés les utilisent pendant de deux heures par jour.

- Utilisez-vous des machines à impact ou à percussion (par ex marteau à percussion) ?

Avec les machines à impact ou à percussion, les niveaux de vibrations sont généralement beaucoup plus élevés qu'avec les machines rotatives. Certains marteaux à percussion peuvent dépasser le seuil d'action d'exposition en quelques minutes seulement, et il faudra certainement prendre des mesures si certains employés les utilisent pendant plus d'une demi-heure par jour.

- Les fabricants ou fournisseurs des machines mettent-ils en garde contre les risques de vibrations ?

Si l'opérateur utilise des machines rotatives qui l'exposer à un risque de pathologie vibratoire, le fabricant doit lui mettre en garde dans le manuel.

- Certaines machines vibrantes provoquent-elles un fourmillement ou des engourdissements des mains pendant ou après l'utilisation ?

Des fourmillements ou des engourdissements des mains peuvent apparaitre pendant ou après l'utilisation d'une machine et constituent le signe d'un risque de vibrations mains-bras en cas d'utilisation prolongé de cette machine.

- Des employés exposés aux vibrations se sont-ils déjà plants de symptômes correspondant au syndrome de vibrations mains-bras ?

En cas de signes du syndrome de vibrations mains-bras, les expositions aux vibrations doivent être gérées. Si les symptômes sont liés à des expositions inférieures au seuil d'action, ils peuvent signaler des employés particulièrement sensibles aux risques de vibrations mains-bras.

II. 3. B/a Déterminer la durée d'exposition :

Avant de pouvoir estimer l'exposition journalière aux vibrations, A(8), il est nécessaire de connaître la durée journalière totale d'exposition aux vibrations pour chaque machine ou processus concerné.

- ✓ Ne comptez que le temps que les employés passent réellement à utiliser l'équipement

- ✓ Ne comptez pas les moments pendant lesquels l'employé a posé l'équipement ou le tient, mais sans le faire fonctionner.

Un chronomètre ou un enregistrement vidéo peut s'avérer utile.

II.3. B .b/ Déterminer l'amplitude des vibrations :

Le risque de vibrations mains-bras est basé sur la valeur totale de l'accélération pondérée en fréquence a_{hv}, qui est donnée par la racine de la somme des carrés des accélérations pondérées en fréquence sur les trois axes orthogonaux by x, y et z :

$$a_{hw} = \sqrt{a^2hwx + a^2hwy + a^2hwz}$$

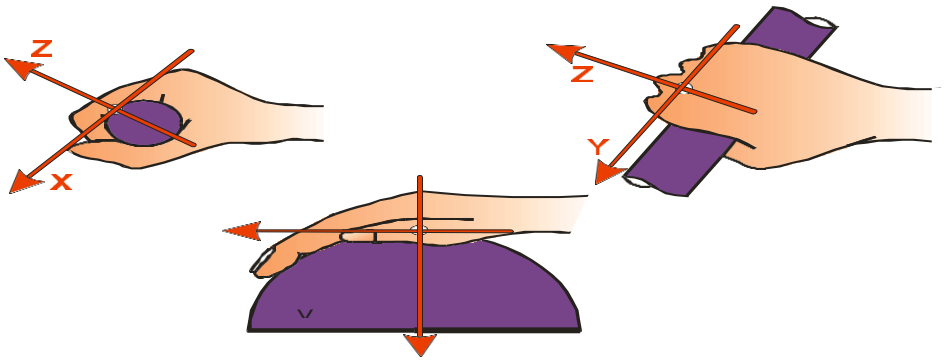


Figure (II.6) : les axes de mesures de l'accélération pondérée.

La Directive Machines de l'Union européenne (Directive 98/37/EC) exige des fabricants, importateurs et fournisseurs de machines dans l'UE qu'ils fournissent des informations sur les risques vibratoires, ainsi que des valeurs des vibrations transmises à la main, émises par les machines mobiles.

L'idéale méthode pour déterminer l'amplitude serait d'utiliser les données vibratoires de la machine (marque et modèle) que vous prévoyez d'utiliser comme la figure II.6 représente

Il existe d'autres sources d'informations sur les amplitudes des vibrations, qui sont souvent suffisantes pour vous permettre de déterminer si le seuil d'action d'exposition ou la valeur limite d'exposition risque d'être dépassé(e) tels que :
Des sites Web européens contiennent les données d'émissions de
vibrations mesurées par les fabricants selon un code normalisé, ainsi que quelques valeurs mesurées "en usage réel" pour différentes machines
Quand on utilise des données vibratoires publiées, il est recommandé de comparer les données de deux ou plusieurs sources
L'idéale méthode de déterminer l'amplitude de la machine serait d'utiliser les données vibratoires de la machine (marque et modèle) qu'on prévoie d'utiliser. Figure II.7

- Système des feux tricolores : [20]

Certains employeurs, en coopération avec les fabricants et fournisseurs de machines, ont élaboré un système de feu tricolores vert orange et rouge pour caractériser

clairement chaque machine par un code représentant les vibrations main*bras en fonction de l'amplitude de vibrations attendue.

Tableau (II.1) : système de feux tricolores.

Code Couleur	Temps pour atteinte le seuil d'exposition ($2.5m/s^2$)	Temps pour atteindre la limite d'exposition ($5m/s^2$)
Rouge	Moins de 30min	Moins de 2 h
Orange	30min à 2h	2 à 8h
Vert	Plus de 2h	Plus de 8h

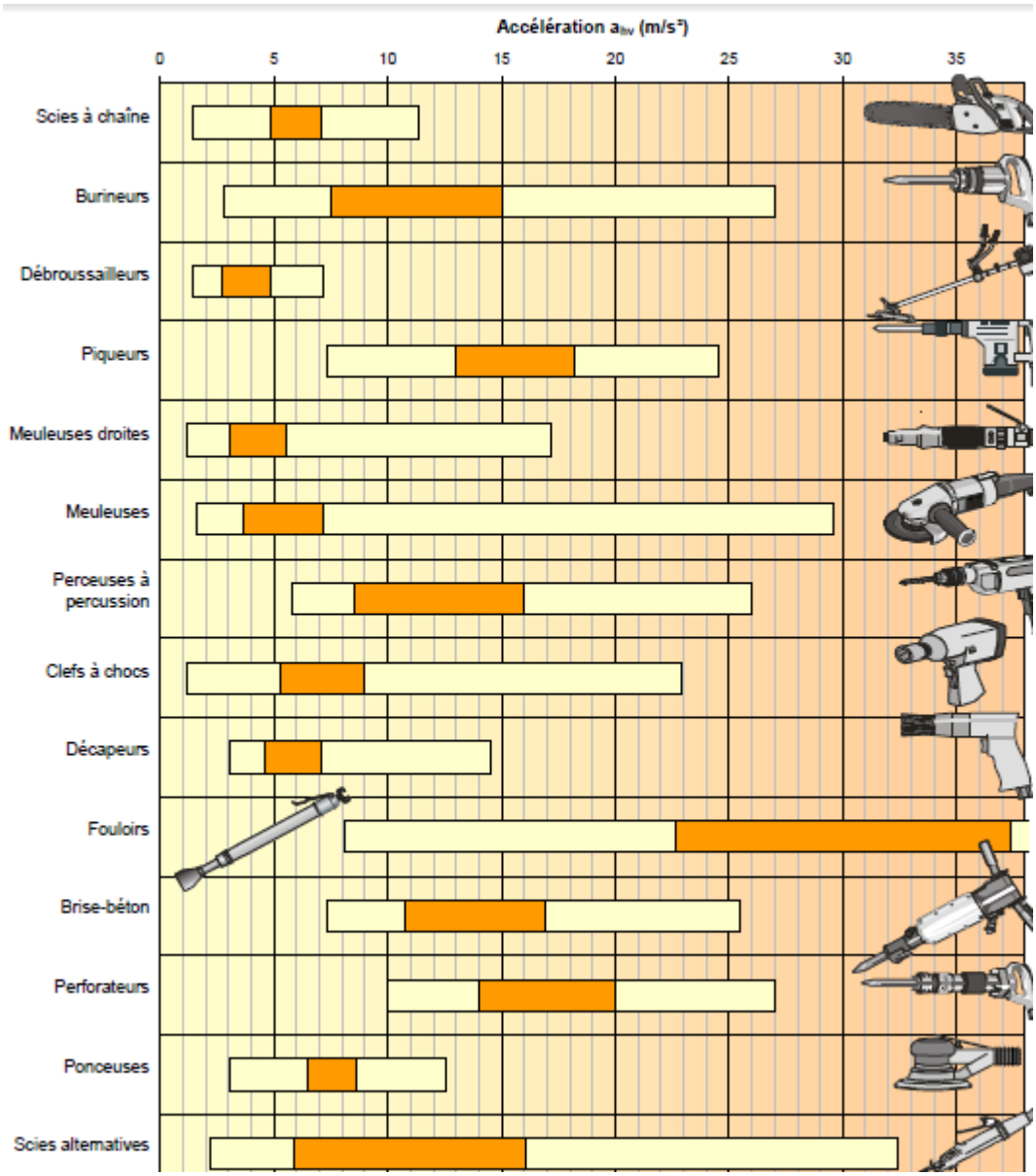


Figure (II.7) : exemple d'amplitude des vibrations pour des machines courantes.

Il est parfois impossible d'obtenir des informations adéquates donc on peut effectuer les mesures internes ou faire l'appel d'un consultant spécialisé

II .3. B. c/Calcul l'exposition journalière aux vibrations :

L'exposition vibratoire quotidienne, *A*(8), est calculée à partir d'une amplitude et d'une durée. Comme pour l'amplitude vibratoire, l'unité de l'exposition vibratoire quotidienne est le mètre par seconde au carré (m/s²).

- Utilisation d'une seule machine

L'exposition journalière aux vibrations, A(8), pour un employé effectuant une tâche ou utilisant une machine peut se calculer à partir de l'amplitude et de la durée d'exposition, suivant l'équation :

$$A(8) = a_{hv}\sqrt{\frac{T}{T0}}$$

Où a_{hv} est l'amplitude des vibrations (en m/s²)

T est la durée journalière d'exposition aux vibrations d'amplitude a_{hv}

T_0 est la durée de référence de huit heures.

Exemple : 1

Un ouvrier forestier utilise une débroussailleuse pendant un total de 4½ heures par jour. Les vibrations de la débroussailleuse en service sont de 4m/s². L'exposition journalière *A*(8) vaut:

$$A(8) = 4\sqrt{\frac{4.5}{8}} = 3m/s^2$$

- Utilisation de plusieurs machines :

Pour une personne exposée à plusieurs sources de vibrations, on calcule une exposition partielle aux vibrations à partir de l'amplitude et de la durée de chacune.

L'exposition journalière totale aux vibrations se calcule alors à partir des expositions partielles selon la formule:

$$A(8) = \sqrt{A1(8)^2 + A2(8)^2 + A3(8)^2}$$

Ou : A1(8), A2(8) et A3(8), etc., sont les valeurs des expositions partielles aux différentes sources de vibrations. [21]

Exemple 2 :

Un ébarbeur utilise trois machines pendant sa journée de travail :

1. une meuleuse d'angle : 4 m/s² pendant 2½ heures
2. une fraise conique : 3 m/s² pendant 1 heure
3. un burineur : 20 m/s² pendant 15 minutes

Les expositions partielles correspondant aux trois tâches valent :

1. Meuleuse : $A_{meuleuse}(8)=4\sqrt{\frac{2.5}{8}}=2.2 m/s^2$.

2. Fraise: $A_{fraise}(8)=3\sqrt{\frac{1}{8}}=1.1 m/s^2$

3. Burineur: $A_{burineur}(8)=20\sqrt{\frac{15}{8\times60}}=3.5 m/s^2$

L'exposition journalière totale vaut donc:

$A(8)=\sqrt{2.2^2+1.1^2+3.5^2}=\sqrt{18.3}=4.3$ m/s².

Cette exposition quotidienne de 4,3 m/s² est au dessus du seuil d'action et en dessous de la valeur limite.

Si l'on mesure l'amplitude des vibrations et la durée d'exposition, les incertitudes associées à l'évaluation de A(8) peuvent atteindre 20 à 40%. Si la durée d'exposition ou l'amplitude des vibrations a été obtenue par estimation l'incertitude affectant l'évaluation de l'exposition quotidienne peut être beaucoup plus grande.

II .4. Conclusion :

L'évaluation de l'exposition journalière des travailleurs aux vibrations est basée sur l'accélération de la machine ou de l'engin et la période a quelle l'opérateur est exposé.

C'est une étape importante pour toute démarche ou protocole d'action visant à protéger les opérateurs contre les risques vibratoires s'ils dépassent les limites normalisés pour le corps et les mains.

Chapitre III :

Les mesures de prévention contre ces vibrations

III.1. Introduction :

Afin de maîtriser les risques liés aux vibrations, la réglementation prévoit que l'employeur réduise ou, si possible, supprime l'exposition. Il peut également entreprendre des actions préventives qui réduisent la probabilité de développer ou d'aggraver des maladies : réduire les vibrations à la source, diminuer la transmission des vibrations au travailleur, réduire l'effet de transmission des vibrations et former les opérateurs.

III. 2. Les acteurs de la Prévention des Risques Professionnels :

Outre l'action de contrôle menée par l'inspection du travail conformément à ses attributions, quatre (04) organismes concourent à l'action de prévention des risques professionnels. Il s'agit de:

- L'Institut National de la Prévention des Risques Professionnels **(INPRP),**
- l'Organisme de Prévention des Risques Professionnels dans les Activités du Bâtiment, des Travaux Publics et de l'Hydraulique **(OPREBATPH),**
- l'Entreprise de Médecine du Travail **(PRESTIMED).**
- la Caisse Nationale d'Assurance Sociale **(CNAS)** à travers la Direction de la Prévention des risques professionnels.

Objectifs de la prévention des risques professionnels :

L'action de ces organismes vise à :

a) Contribuer à la prévention des risques professionnels pour une meilleure connaissance de ces risques et l'adaptation des moyens de prévention des accidents de travail et des maladies professionnelles par une meilleure prise en charge de ces risques.

b) Réduire les coûts des accidents de travail et les maladies professionnelles.

c) Sensibiliser les travailleurs et les employeurs à la culture de prévention des risques professionnels.[22]

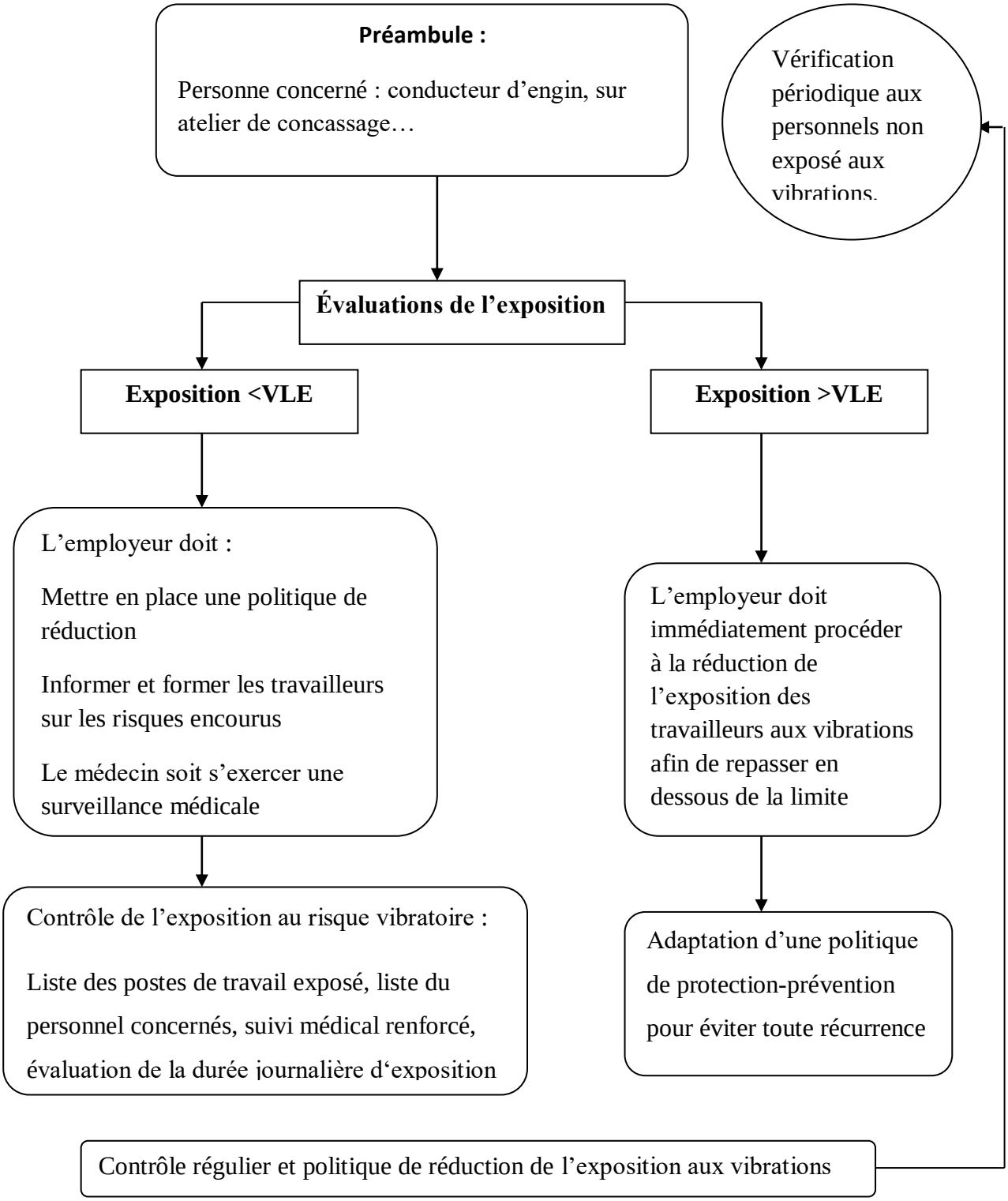


Schéma III.1 : protocole d'action après l'évaluation de l'exposition

III.3.Partie 1 : Les mesures de prévention contre les vibrations liées au système main-bras :

III.3.1. A/ Réduction des vibrations par modification de la tache :

C'est l'adaptation des taches de travail aux opérateurs et elles doivent être conçues de sorte que :

- les valeurs des vibrations main-bras soient aussi faibles que possible.
- la période d'exposition journalière aux vibrations soit aussi courte que possible.
- la posture de travail soit non contraignante.
- Les forces exercées soient compatibles avec les capacités de l'opérateur.
- les forces de préhension et de poussée requises pour contrôler la machine ou la pièce usinée soient aussi faible que possible.
- Les répétitions fréquentes et rapides des mouvements des membres supérieurs soient évitées.

Rappelons que plus les forces appliquées par la main sur la surface vibrante sont élevées, plus les vibrations transmises à l'opérateur sont importantes.

III.3.1. B/ Réduction des vibrations par le choix de machines peu vibrantes :

III.3.1.B. a /Achat de machines peu vibrantes :

Les fabricants et importateurs qui commercialisent des machines en Europe peuvent aider à choisir les machines les plus adaptées à les besoins et les plus sures. Ils sont tenus de respecter la directive « Machine » 2006/42/CE qui leur demande notamment de concevoir leur machine de façon à réduire autant que possible les risques vibratoires.

Il faut vérifier que le service d'achats mène une politique d'achat d'équipement appropriée, qui tient compte des émissions de vibrations et des exigences d'exploitation.

Pour choisir une machine il faut prendre en considération : la forme, le poids et le confort des poignées, la facilité d'utilisation et la prise en main.

III.3.1.B. b /Choix des systèmes antivibratoires :

Le contact direct des mains des opérateurs avec les surfaces vibrantes peut être évité en insérant entre les deux une isolation antivibratoire. De nombreuses machines sont équipées

de poignées qui peuvent réduire les vibrations, il est préférable de ne retenir que des poignées suspendues recommandées par le fabricant de la machine.



Figure (III.1) : meuleuse équipée de poignées suspendues.

III.3.1.B. c /Réduction des forces exercées par les opérateurs :

On peut réduire les efforts de compréhension exercés par l'opérateur en employant par exemple des systèmes de compensation du poids qui servent à soutenir les machines vibrantes lourdes comme des perceuses, des meuleuses.

Exemple : pour meuler des pièces lourdes à la main avec une meuleuse sur socle, soutenir toute la pièce permettra à l'ouvrier de seulement devoir la guider sur la roue, au lieu de devoir en soutenir tout le poids

III.3.1.B. d /Maintenance des machines et des outils associés :

Les machines dégradées vibrent généralement plus que celles en bon état de marche. C'est pourquoi les machines et leurs accessoires doivent être entretenus de façon régulière selon les instructions par les fabricants.

Exemple : régler les moteurs, lubrifier les parties mobiles, dresser les roues de meulage, remplacer les pièces usées, affuter les dents des tronçonneuses…

III.3.1. C/ Protection individuelle :

Les EPI ne constituent qu'un dernier recours en matière de protection contre les risques professionnels. Il convient de ne les considérer comme un moyen de prévention qu'après avoir exploré toutes les autres options. La protection collective doit demeurer la priorité.

Cependant lorsque l'analyse des risques révèle que celle-ci est insuffisante ou impossible à mettre en œuvre, l'employeur doit mettre à disposition des salariés les EPI appropriés.

III.3.1.C. a / Gants anti vibratiles :

Les gants commercialisés sous la mention « CE », qui indique qu'ils ont été soumis à des essais et sont conformes aux exigences de la norme ISO10819.

Dans la pratique, la réduction des vibrations aux fréquences à 150Hz (9000 tr/min) apportée par ces gants est négligeable. En conséquence, ils ne constituent pas une solution efficace pour assurer la protection contre les vibrations émises par la plus part des machines portatives notamment les machines percutantes. Ils peuvent réduire les risques vibratoires uniquement pour les machines fonctionnant à des vitesses de rotation supérieures à 9000 tr/min



Figure (III.2) : gants anti vibratiles

III.3.1.C. b / Protection contre le froid :

Une basse température du corps augmente le risque de blanchiment des doigts (syndrome de Raynaud) par diminution de la circulation sanguine des extrémités.

En conséquence, il faut :

- ✓ Limiter les travaux utilisant des machines vibrantes en extérieur par temps froid. Si des opérateurs doivent travailler à l'extérieur par temps froid, il existe des poignées chauffantes (figure). Ils doivent en outre disposer de vêtements chauds et de gants.

- ✓ Eviter l'utilisation de machines susceptibles de refroidir les mains, par exemple les machines à corps en acier ou les machines pneumatiques qui rejettent l'air d'échappement sur les mains de l'opérateur.
- ✓ La température en intérieur doit être suffisante pour assurer un confort raisonnable, sans nécessiter le port de vêtements spéciaux.



Figure (III.3) : exemple de poignées chauffantes.

III.3.1. D / Réduire la durée d'exposition :

Si les actions mises en œuvre pour réduire l'amplitude des vibrations transmises ne sont pas suffisantes, une solution complémentaire consiste à limiter la durée de l'exposition des opérateurs en les faisant tourner sur les postes ou en modifiant l'organisation du travail (permuter les postes, intercaler des taches non vibrantes, aménager le temps de travail sur certains postes…)

Les employeurs doivent éviter d'exposer les opérateurs aux vibrations pendant des périodes longues en continu (selon la norme ISO 5349-1 tableau C.1 et figure C.1), il est souhaitable d'inclure des pauses fréquentes et régulières. Ainsi, si le travail est rémunéré à la pièce il faut prévoir une organisation encourageant les interruptions.

Exemple :

4heures d'utilisation d'un burineur émettent en service des vibrations de 7m/s² donne un A(8)=5m/s² .Celui –ci atteinte la VLE. L'objectif étant de rester à une valeur maxi de 2.5 m/s² (VDA), voici donc 2 solutions pour aboutir au même résultat :

Solution1 : réduire la durée d'exposition par quatre : soit 1 heure d'utilisation du burineur émettent en fonctionnement des vibrations de 7 m/s^2 donc ⇒ $A(8)=2.5m/s^2$.

Slution2 : réduire le niveau deux : par le choix d'un burineur moins vibrant émettant $3.5m/s^2$ donc ⇒ $A(8)=2.5m/s^2$.

Limiter la durée d'exposition est moins efficace que diminuer le niveau d'émission vibratoire.

Conformément à la norme ISO 5349-1, la réduction de moitié de l'exposition aux vibrations nécessite d'abaisser la durée d'utilisation par un facteur de 4 contre un facteur de 2 pour l'émission vibratoire.

III.3.1.E/ Information et formation des opérateurs :

Il est important de fournir aux opérateurs et au personnel d'encadrement des informations sur :

- ✓ Les risques liés à l'exposition aux vibrations émises par les machines.
- ✓ Les circonstances dans lesquelles les opérateurs ont droit à un suivi individuel de leur état de santé.
- ✓ L'existence d'une valeur limite d'exposition et d'une valeur déclenchant d'action.
- ✓ Les méthodes de travail qui minimisent l'exposition aux vibrations.
- ✓ Le signalement des machines ou des outils nécessitant une maintenance.
- ✓ Le remplacement des outils et des consommables qui contribuent à des expositions vibratoires excessives.

Les opérateurs doivent être formés à l'utilisation des machines tenues à la main pour éviter d'appliquer des forces excessives et pour garantir que les machines soient utilisées de manière sure et avec une efficacité optimale.

Ils doivent apprendre à tenir correctement les machines dotées de poignées suspendues.

Les opérateurs et les techniciens de maintenance doivent recevoir une formation pour savoir connaitre quand les éléments de la machine qui affectent l'exposition aux vibrations [23]

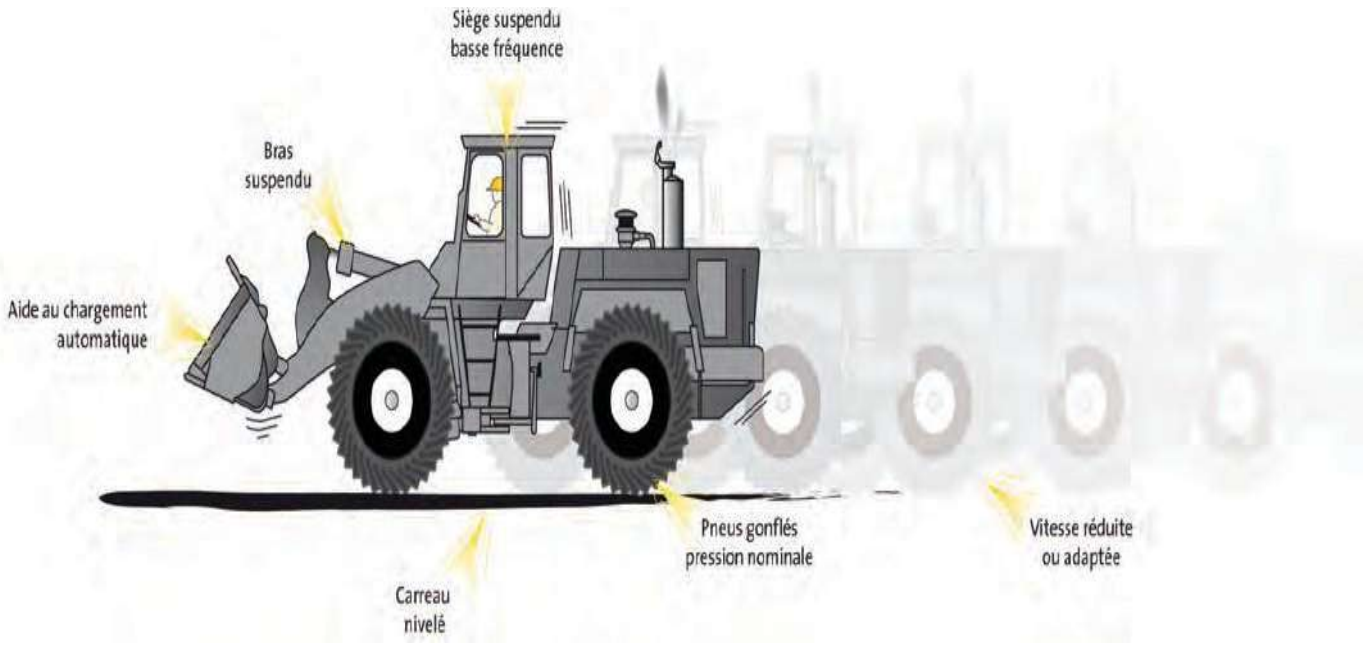
III.3.Partie 2 : Les mesures de prévention contre les vibrations liées au corps entier :

III.3.2. A/ Choix des équipements :

Un équipement inadapté (capacité insuffisante par exemple) ralentira le travail et exposera les opérateurs à des vibrations plus longtemps que nécessaire. Il convient de choisir des machines dont la cabine et les commandes sont agencées de telle manière que l'opérateur conserve dans le temps une posture droite et confortable. Lorsqu'ils sont correctement choisis (nature, diamètre…), les pneumatiques peuvent absorber en partie les vibrations résultant d'un sol présentant de petites irrégularité.

III.3.2. B/ Démarche d'achat ou de location :

Outre les exigences d'exploitation, l'acheteur ou le locataire doit inclure dans son ca hier des charges des exigences concernant les paramètres d'émissions vibratoires, les caractéristiques des sièges, les facteurs ergonomiques. Tout constructeur ou importateur des machines doit respecter la directive « Machine » (directive 2006/42/CE).Ainsi, le fournisseur doit informer l'utilisateur des risques éventuels présentés par l'engin.



Figure(III.4) : la réduction des vibrations est l'affaire de tous : du fabricant, de l'employeur, de l'opérateur et de la maintenance.

III.3.2. C /Siège et poste de travail :

La directive « Machine » demande que les fabricants équipent leurs machines avec un siège conçus pour réduire les vibrations transmises au conducteur au plus faible niveau. La solution la plus efficace consiste à choisir un siège à suspension adapté au véhicule et ajusté selon l'utilisation. À chaque famille de machine correspond une norme de code d'essais de siège que le fabricant doit respecter (NF EN ISO 7096 :2008 pour les engins de chantier, NR EN 13490+A1 2009 : pour les chariots élévateurs.)

❖ **Critères de choix d'un siège à suspension**

- La suspension du siège doit être adaptée au véhicule sur lequel elle est montée. Vérifier avec le fournisseur qu'elle est efficace pour les applications envisagées. Réclamer des sièges qui ont été soumis à des tests vibratoires pour la catégorie du véhicule que l'on équipe (se référer à la notice d'instructions).
- Le siège doit être muni de réglages repérables et faciles d'utilisation. Ils permettent au conducteur un ajustement individuel en fonction de sa taille, de son poids et de son confort de conduite, suivant les instructions du constructeur.
- Préférer les suspensions pneumatiques, qui adaptent automatiquement le siège en position moyenne selon le poids du conducteur.



Figure (III.5) : siège d'un engin et ses réglages, permettant de diminuer la transmission des vibrations au conducteur.

III.3.2. D/ Organisation du travail : Aménager les postes de travail pour réduire la durée d'exposition :

Les taches de travail doivent être conçues pour que :

- ✓ L'exposition à des vibrations soit la plus faible possible.
- ✓ La période journalière d'exposition à des vibrations excessives soit la plus courte possible.
- ✓ L'exposition à des chocs forts soit évitée.
- ✓ La position de travail n'augmente pas les risques de pathologies dorsales.

Après une longue période de conduite, il est recommandé de s'étirer avant de quitter le véhicule et d'éviter de sauter de la cabine à terre.

L'exposition peut alors être réduite et maitrisée :

- En préparant et entretenant la chaussée (supprimer des obstacles, combler les nids de poule, aplanir les bosses et ondulations…).
- En disposant d'un siège à suspension adaptée et correctement réglé en fonction du poids du conducteur.
- En limitant la vitesse des véhicules.
- En choisissant un engin adapté pour minimiser la fréquence des déplacements et les distances.

III.3.2. E/ Information et Formation des opérateurs :

Il est important de fournir aux opérateurs et aux personnels d'encadrement des informations sur :

- ✓ Les risques de pathologie due aux vibrations.
- ✓ L'existence d'une VLE et d'une VDA
- ✓ Les moyens mis en œuvre pour éliminer ou réduire les risques résultant des vibrations.
- ✓ Les bonnes pratiques de travail pour minimiser l'exposition aux vibrations.
- ✓ Les réglages du siège (poids, position avant-arrière, hauteur…)

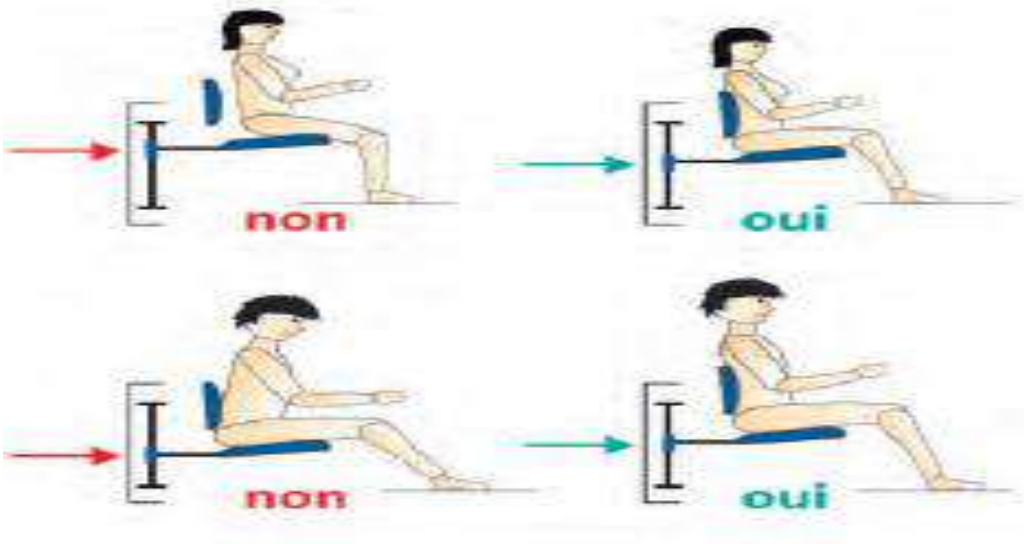


Figure (III.6) : Régler un siège à son poids, c'est ajuster la suspension du siège au milieu de sa course

III.3.2. F / Maintenance :

L'entretien régulier des véhicules portera en particulier sur :

- La vérification et le remplacement des amortisseurs, suspension du siège…
- La vérification de la pression des pneumatiques préconisée par le constructeur.
- La lubrification des systèmes de réglages et de suspension (en particulier au niveau du siège).

Il est essentiel d'entretenir régulièrement les sols pour réduire les amplitudes des vibrations [24]

III.3.2. J / Réduction des vibrations par l'entretenir les sols et surfaces de roulement :

Le risque vibratoire est aggravé en cas de conduite tout terrain ou sur route en mauvais état avec une suspension déficiente et ce, d'autant plus que la vitesse est élevée



Figure (III.7): Rouler sur un sol inégal provoque des vibrations importantes.

Il est important de :

- Surveiller l'état des voies de circulation sur le site du travail
- Adapter la vitesse du véhicule à l'état des sols et des voies de circulation
- Ne pas négliger le choix des **pneus** : ils atténuent les vibrations provoquées par les petits obstacles sur le sol
- Sur les chariots élévateurs, préférer des pneus gonflés aux pneus pleins car ils sont plus souples.

III.3.2. K/ Utilisation d'autres méthodes de travail :

Il est parfois possible d'employer d'autres méthodes de travail pour supprimer ou réduire l'exposition à des vibrations, par exemple en transportant des matériels ou palettes sur un convoyeur plutôt qu'avec des machines mobiles, en favorisant l'utilisation de matériel télécommandé [25]



Figure (III.8) : exemple d'un convoyeur dans un milieu industriel.

III.4. Le Suivi médical :

Les salariés exposés aux vibrations doivent faire l'objet d'un suivi individuel de leur état de santé dont l'objectif est de les informer sur les risques éventuels auxquels les expose leur poste de travail et de détecter les signes précoces de maladies dues aux vibrations. Le suivi comprend notamment une visite d'information et de prévention réalisée par un professionnel de santé, renouvelée régulièrement. Le médecin du travail a également un rôle de conseil auprès de l'employeur, afin d'encourager la mise en place d'actions de prévention et de s'assurer de leur efficacité à long terme.

III.4. A/ Buts de la visite d'information et de prévention :

Les buts de cette visite d'information et de prévention sont précisés par l'Art. R. 4624-11 du Code du travail :

- interroger le salarié sur son état de santé ;
- l'informer sur les risques éventuels auxquels l'expose son poste de travail ;
- le sensibiliser sur les moyens de prévention à mettre en œuvre ;

- identifier si son état de santé ou les risques auxquels il est exposé nécessitent une orientation vers le médecin du travail ;

  L'informer sur les modalités de suivi de son état de santé par le service et sur la possibilité dont il dispose, à tout moment, de bénéficier d'une visite à sa demande avec le médecin du travail. [26]

III.4. B/ Quand un suivi médical est-il nécessaire ?

Un suivi médical approprié doit être institué pour les salariés exposés lorsque :

a) Les résultats de l'évaluation des risques font apparaitre que les salariés sont exposés à des risques dus aux vibrations mécaniques.
b) Les salariés sont exposés à un niveau de vibrations mécaniques supérieur aux valeurs déclenchant l'action, le médecin du travail doit exercer dans ce cas une surveillance médicale renforcée.

- .

III.4. C/ Que faire si l'on détecte une pathologie ?

La surveillance médicale peut détecter chez un salarié une pathologie identifiable ou un effet sur sa santé, qu'un médecin du travail juge résulter de l'exposition professionnelle à des vibrations. Le médecin du travail a la possibilité de délivrer une inaptitude à un poste de travail.

a. Information du salarié : le salarié doit être informé par le service de santé au travail des résultats de son suivi médical personnel. Il doit être averti et conseillé pour qu'un suivi médical soit poursuivi après la fin d'exposition, en cas de changement de poste ou d'activité.
b. Information de l'employeur : l'employeur doit être informé de toute conclusion significative provenant de la surveillance médicale renforcée, dans le respect du secret médical.
c. Action de l'employeur : lorsqu'une pathologie est détectée, l'employeur doit :

✓ Mettre à jour l'évaluation du risque de vibrations.
✓ Examiner les mesures à mettre en place pour supprimer ou réduire le risque vibratoire.
✓ Tenir compte des avis des services de santé au travail de l'entreprise, et des préventeurs pour l'application de toutes les mesures nécessaires comme décrites

ci-dessus, y compris la possibilité de changement de poste de travail ne comportant pas de risque d'exposition.

- ✓ Mettre en place un suivi médical et prévoir un examen de santé de tous les autres employés ayant été exposés de façon similaire. Dans ce cas le médecin de l'entreprise ou l'employeur peut proposer que les personnes exposées soient soumises à un examen de santé.

III.4. D/ Les techniques pour le suivi médical :

Le suivi médical doit consister en une évaluation **des antécédents d'un employé**, associée à **un examen physique** conduit par un médecin qualifié :

a)les antécédents : Les antécédents doivent se concentrer sur :

- Les antécédents familiaux ;
- Les antécédents sociaux, notamment tabagisme et consommation d'alcool ;
- Les antécédents professionnels :

Pour les vibrations main-bras : notamment postes antérieurs et actuel exposés à des vibrations transmises par les mains, les postes antérieurs comportant une exposition à des substances neurotoxiques ou angiotoxiques, et toute activité de loisirs comprenant l'utilisation d'outils ou machine vibrantes ;

Pour les vibrations globales du corps : notamment postes antérieurs et actuel exposés à des vibrations, position de travail, taches de manutention et d'autres efforts dorsaux au travail, et toute activité de loisirs comprenant l'utilisation de machines vibrantes.

Les antécédents de santé personnelle ;

b) l'examen physique : doit inclure :

- ❖ Pour le corps entier :
- Examen de la fonction dorsale et évaluation des effets de la douleur sur la flexion et l'extension latérales et vers l'avant ;
- Test d'évaluation de la jambe tendue ;
- Examen neurologique périphérique (réflexes du genou et du tendon d'Achille et sensibilité dans la jambe et le pied) ;
- Signes de faiblesse musculaire ;

- Test d'endurance dorsale ;
- Signes de Waddel d'une douleur non organique ; [27]

❖ Pour le système main bras : l'examen physique devra être conduit par un médecin qualifié, qui examinera en détail les systèmes vasculaire périphérique, neurologique et musculosquelettique.

b.1) Examens vasculaires : l'évaluation vasculaire du syndrome vibratoire mains-bras est basée principalement sur des tests de provocation à froid : changements de couleur des doigts, temps de rétablissement de la température de la peau des doigts, mesure de la pression sanguine systolique dans les doigts.

b.2) Examens neurologiques : L'évaluation neurologique du syndrome vibratoire mains-bras peut recourir à plusieurs tests :

- Seuils de perception aux vibrations.
- Sensibilité tactile
- Seuils de réception thermique
- Vitesse de conduction nerveuse dans les membres supérieurs et inferieurs
- Dextérité du bout des doigts.

b.3) Examens radiologiques : des radiographies des épaules, des coudes, des poignets et des mains en vue d'un diagnostic radiologique de pathologies des os et des articulations sont généralement exigées dans les pays dans lesquels l'arthrose des membres supérieurs induite par des vibrations est considérée comme une maladie professionnelle.

b.4) Teste de laboratoire : des analyses de sang et d'urine peuvent s'avérer nécessaires dans certains cas pour distinguer les pathologies vibratoires d'autres vasculaires ou neurologiques. [28].

III.5.Conclusion :

La prévention des opérateurs est la responsabilité de l'employé qui doit proposer la stratégie capable de réduire la durée d'exposition et aussi l'émission vibratoire des équipements

Le médecin de travail doit suivre tout operateur menacé par des troubles, et lui informe si on détecte une pathologie chez lui.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette recherche avait pour ambition d'apporter une contribution à une meilleure compréhension sur les risques professionnels provoqués par les vibrations dans les lieux de travail et la protection contre eux .De manière plus détaillées, ce travail a montré que :

- L'exposition régulière d'un opérateur de machine vibrante, ou d'un conducteur d'engin (dans touts les secteurs d'activités) à des bas ou hauts niveaux de vibrations, provoque des maladies professionnelles pour l'ensemble du corps et pour le système main bras plus ou moins grave.
- L'évaluation de l'exposition à ce phénomène vibratoire dans les milieux industriels consiste à connaitre l'émission vibratoire (accélération) de chaque outil, machine ou engin ; et selon touts les axes ; ce qui permet de calculer l'exposition journalière ou partielle en voyant si cette valeur dépasse la valeur limite d'exposition donc l'employé ou le responsable est obligé de mettre en œuvre la démarche pour la prévention
- La protection des opérateurs est la responsabilité de l'employeur qui doit mettre en place une politique de réduction ou suppression leur exposition à ce phénomène et le médecin de travail qui est obligé à s'exercer une surveillance médicale et périodiquement en les informant s'il a détecté une pathologie

Annexes

Annexes

Glossaire :

Émission de vibrations : Valeur de vibrations fournie par les fabricants de machines pour indiquer les vibrations susceptibles d'apparaître sur leurs machines. La valeur des émissions de vibrations doit être obtenue par un code d'essai normalisé et figurer dans les instructions de la machine.

Exposition journalière : A(8) accélération équivalente continue, normalisée pour 8 heures par jour ; la valeur de A(8) est basée sur la moyenne quadratique du signal d'accélération et s'exprime en m/s^2.

Exposition partielle aux vibrations, A(8) : la contribution de la tache i sur l'exposition quotidienne aux vibrations .Elle s'exprime en m/s^2.L'exposition partielle aux vibrations correspond à l'exposition quotidienne due à une machine ou une tache i (si l'employé n'est exposé qu'aux vibrations d'un seul outil ou processus, l'exposition journalière est égale à l'exposition partielle aux vibrations)

Temps d'exposition : La durée par jour qu'un opérateur est exposé à une source vibratoire.

Suivi médical : Programme de suivi médical des employés afin de détecter les effets précoces de pathologies résultant de leurs activités professionnelles

Valeur déclarée de vibrations émises : valeur de vibrations fournie par les fabricants de machines pour indiquer les vibrations susceptibles d'être émises par leur machines. La valeur déclarée des vibrations émises devrait être obtenue en référence à un code d'essaie normalisé. Elle doit figurer dans les instructions de la machine.

Hernie discale - C'est une saillie que fait un disque intervertébral dans le canal rachidien suite à un mouvement de force ou un traumatisme. Symptômes : voir dorsalgie, lombalgie, …

Lombalgies : état douloureux du rachis lombaire (mal de rein ou tour de rein).

Le risque (Selon la norme AFNOR EN 292-1) est définit comme la cause capable de provoquer une lésion ou une atteinte à la santé. Le mot risque est généralement accompagné d'autres mots précisant son origine ou la nature de la lésion ou de l'atteinte à la santé redoutée : risque électrique, risque d'écrasement, risque d'intoxication…

Un danger (Selon la norme CSA Z2001) est toute source potentielle de dommage de préjudice ou d'effet nuisible sur la santé pour quelque chose ou quelqu'un.

Un risque professionnel est un événement dont l'occurrence met en danger des personnes dans le cadre de l'exercice de leur métier

Tableau 69 :

Désignation des maladies	**Délai de prise en charge**	**Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces maladies**
-A- Affection ostéo-artoculaires confirmées par des examens radiologiques : Arthrose du coude comportant des signes radiologiques d'ostéophytoses ; Ostéonécrose du semi-lunaire (maladie de Kienbock) ; Ostéonécrose du scaphoide carpien (maladie de Kolher) Troubles angioneurotiques de la main, prédominant à l'index et au méduis, pouvant s'accompagner de crampes de la main et de troubles prolongés de la sensibilité et confirmés par des épreuves fonctionnelles ojjectivant le phénoméne de Raynaud	5 ans 1 an 1 an 1 an	Travaux exposant habituellement aux vibrations transmises par : a**)Les machines –outils tenues à la main**, notamment : <u>les machines percutantes</u> (marteaux-piqueur, les burineurs, les bouchardeuses et les fouloirs), <u>les machines rotopercutantes</u> (les perforateurs, les perceuses à percussion et clés à choc) <u>les machines rotatives</u> (les polisseuses, les meuleuses et les débroussailleuses) **b) les outils tenus à la main associés à certaines machines précitées** (travaux de burinage) **c) les objets tenus à la main en cours de façonnage**

-B- Affections ostéo-articulaires confirmées par des esamens radiologiques : Arthrose du coude comportant des signes radiologiques d'ostéophytose ; Ostéonécrose du semi-lunaire (maladie de Kienbock) ; Ostéonécrose du scaphoide carpien (maladie de Kolher). -C- Atteinte vasculaire cibutopalmaire en régle unilatérale (syndrome du marteau hypothénar) entrainant un phénomène de Raynaud ou des manifestations ischémiques des doigts confirmée par l'artériographie objectivant un anévrisme ou une thrombose de l'artére cubitale ou de l'arcade palmaire superficielle	5 ans 1 an 1 an 1an (sous réserve d'une durée d'exposition de 5 ans)	travaux exposant habituellement aux chocs provoqués par l'utilisation manuelle d'outils percutants : travaux de martelage (travaux de forge,tolerie,démolition ; utilisation de pistoles se scellements ; utilisation de clouteuse et de riveteuses ; Travaux exposant habituellement à l'utilisation du talon de la main en percussion directe itérative sur un plan fixe ou aux chocs transmis

Tableau 97 :

Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces maladies
Sciatique par hernie discale L4-L5 ou L5-S1 avec atteinte radiculaire de topographie concordante. Radiculalgie crurale par hernie discale L2-L3 ou L3-L4 ou L4-L5, avec atteinte radiculaire de topographie concordante.	6 mois (sous réserve d'une durée d'exposition de 5 ans)	Travaux exposant habituellement aux vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier : -par l'utilisation ou la conduite des engins et véhicules tout-terrain chargeuse, pelleteuse, chargeuse-pelleteuse, niveleuse, rouleau vibrant, camion tombereau, décapeuse, chariot élévateur, chargeuse sur pneus ou chenilleuse, bouteur, tracteur agricole ou forestier ; -par l'utilisation ou la conduite des engins et matériels industriels : chariot automoteur à conducteur porté, portique, pont roulant, grue de chantier, broyeur ; -par la conduite de tracteur routier et de camion monobloc.

Exemple de fiche d'évaluation :

Entreprise : Définition du poste de travail :

Nom de salarié : Date d'évaluation :

Machine			Durée d'exposition	Exposition journalière		Mesures de prévention
type	Tache	accélération		Accélération totale	Exposition journalière	

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

1 : CHAKIR LINA, Etude du phénomène de bruit et vibrations générés par des groupes électropompes ; master 2 ; promotion 2016

2 : Michel THUMERELLE ; Aspects fondamentaux des phénomènes vibratoires externes et internes. Définition, propriétés physiques et physiologiques ; novembre 2002

3 : MIGNANWANDE Maxime ; mesure et analyse des phénomènes vibratoires ; Master2 métrologie ; promotion 2016/2017

4 : exposition des travailleurs aux vibrations ; https://sante.public.lu/fr

5: prévention BTP ; https://www.preventionbtp.fr/

6 : chapitre 50 les vibrations ; http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo050.htm

7 : Christ E., Brusl H., Donati P. et coll. (1989) Les vibrations aux postes de travail. I.N.R.S., France

8: http://www.inrs.fr/

9 : centre canadien d'hygiène et de sécurité, CCHST, https://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_effects.html

10 : Christ E., Brusl H., Donati P. et coll. (1989) Les vibrations aux postes de travail. I.N.R.S., France.

11: l'effet de la vibration comme facteur de risque sur les LMMS et les maux de dos ; Charles Coté Ph .D ; novembre 2019

12 : Vibration de l'ensemble du corps, SERIE STRATEGIE SOBANE GESTION DES RISQUES PROFESSIONNELS, Janvier 2005, l'Union européenne - Fonds social européen.

13 : Effets sur la santé à l'origine de douleurs lombaires et de lombalgies http://www.inrs.fr/risques/vibration-corps-entier/effets-sante.html

14 : Rosseel H. (1982) Etude de l'exposition des conducteurs de véhicules de carrière à des vibrations globales du corps. Mémoire de Licence en Sécurité et Hygiène du Travail, Université catholique de Louvain, Bruxelles.

15 : Boulanger P., Donati P., Galmiche J.P. et coll.(1992) L'environnement vibratoire au poste de conduite des camions. Cahiers des Notes documentaires, 146, 35-42

16 : http://www.inrs.fr/risques/vibration-corps-entier/exposition.html

17 : les vibrations, risque professionnels et prévention Dr AZIZ TIBERGUENT

18 : exposition des travailleurs aux vibrations

19 : Guide des bonnes pratiques en matière de Vibrations globales du corps ; juillet 2016. https://sante.public.lu/fr/publications/g/guide-bonnes-pratiques-vibrations-corps/index.html

20 : Guide des bonnes pratiques en matière de vibrations mains-bras ; juin 2006 ; https://sante.public.lu/fr

21 : INRS la main en danger, 2001,

22 : les acteurs santé et sécurité au travail, https://www.mtess.gov.dz/fr/

23: vibration main bras guide des bonnes pratiques ; http://www.inrs.fr

24 : vibrations et mal de dos http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206018

25 : http://www.inrs.fr/risques/vibration-corps-entier/reduire.html

26: https://www.atousante.com

27: Piette A., Malchaire J. (1992) Technical cha-racteristics of overhead cranes influencing the vibration exposure of the operators. Applied Ergonomics, 23, 2: 121-127.

28: guide des bonne pratique des vibrations main bras ; annexe F ; https://sante.public.lu/fr