



Direction des études
Mission Santé-sécurité au travail dans les fonctions publiques (MSSTFP)

VIBRATIONS

Introduction

L'INRS évalue à 1,5 millions le nombre de travailleurs exposés régulièrement aux vibrations dans leurs activités.

On dit qu'un objet vibre quand il y a déformation et oscillation de celui-ci autour d'une position de référence : sa position d'équilibre (exemple : diapason).

Il y a une relation entre déplacement, vitesse de déplacement et accélération.

Les vibrations peuvent être caractérisées par

- Leur **fréquence** (exprimée en Hertz),
- Leur amplitude, caractérisée soit : par l'amplitude du déplacement, (en mètres), par l'amplitude de la vitesse à laquelle s'effectue le mouvement (m/s) qui est proportionnelle au déplacement et à la fréquence, ou par **l'amplitude de l'accélération**, proportionnelle au déplacement et au carré de la fréquence (m/s^2 ou en g. $1g = 9,81 m/s^2$).

Déplacement et accélération sont les variables les plus utilisées pour qualifier l'amplitude de la vibration. On utilise le plus souvent la valeur efficace (RMS) de l'accélération. Elle est égale à la racine carrée de la moyenne, sur le temps d'observation, du carré de la valeur instantanée. Une formule permet de calculer la valeur efficace de l'accélération équivalente en tenant compte des trois axes (vertical, transversal et sagittal) et des fréquences selon lesquels les vibrations peuvent se manifester. La valeur obtenue est alors à comparer aux limites tolérables adoptées par les normes.

Si l'on compare l'évolution dans le temps de deux phénomènes vibratoires de même fréquence, ceux-ci peuvent se produire de façon synchrone : les deux oscillations sont dites en phase. S'il y a retard d'un phénomène par rapport à l'autre, il y a un déphasage.

Lors d'une excitation, un corps vibre à une fréquence particulière qui est sa **fréquence propre** (par exemple un diapason).

Une vibration peut se propager d'un corps à un autre, ce second corps pouvant vibrer avec une amplitude différente (par exemple vibration du siège sur un véhicule).

On parle ainsi d'amplification ou d'atténuation de la vibration. Quand l'amplitude est maximale, pour un corps donné, on dit qu'il y a résonance. Ce phénomène se produit pour une fréquence donnée, caractéristique de l'élément considéré : la **fréquence de résonance**.

La mesure des vibrations

La chaîne de mesure comporte : des capteurs, (capteur d'accélération : accéléromètre, de vitesse et de déplacement), des amplificateurs conditionneurs, (permettent l'alimentation électrique du capteur et l'adaptation de sa sensibilité de façon à fournir les résultats en unité cohérente) et des enregistreurs (graphiques, photographiques ou magnétiques).

Sur un engin, deux mesures sont essentielles : l'enregistrement des vibrations au plancher et l'enregistrement des vibrations au bassin de l'opérateur.

Sur l'opérateur : l'enregistrement des vibrations se fait en divers endroits du corps (bassin, thorax, tête, main...), dans les 3 plans de l'espace, ou au minimum dans le plan vertical. Il faut répéter les mesures si les vibrations sont aléatoires ou changent avec le temps (état des chemins, de la circulation par exemple). Il faut également évaluer la durée d'exposition.

Principaux textes

Décret n° 2005 -746 du 4 juillet 2005 (articles R. 4441-1 0 R. 4447-1 du code du travail) relatif aux prescriptions de sécurité et de santé applicables en cas d'exposition des travailleurs aux risques dus aux vibrations mécaniques et modifiant le code du travail.

Directive 2002/44/CE du 25 juin 2002 (date limite de transposition : 6 juillet 2005) concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (vibrations).

Quelques documents de normalisation :

NF EN 28662-1, avril 1993 : Machines à moteur portatives – Mesurage des vibrations au niveau des poignées – Partie 1 : généralités

FD CR 1030-1, décembre 1995 : Vibrations main-bras : guide pour la réduction des risques de vibrations : Partie 1 : Mesures techniques lors de la conception des machines.

FD CR 1030-2, décembre 1995 : Vibrations main-bras : guide pour la réduction des risques de vibrations : Partie 2 : Mesures de prévention sur le lieu de travail.

NF EN ISO 5349-1, 2001 : Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main. Partie 1 : Exigences générales

NF EN ISO 5349-2, décembre 2001 : Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main. Partie 2 : Guide pratique pour le mesurage sur le lieu de travail

FD CEN/TR 15350, août 2006, Vibrations mécaniques – Guide pour l'évaluation de l'exposition aux vibrations transmises à la main à partir de l'information disponible, y compris l'information fournies par les fabricants de machines

NF EN ISO 20643, septembre 2008 : Vibrations mécaniques – Machines tenues et guidées à la main – Principes pour l'évaluation d'émission de vibration

FD CR 12349, Septembre 1996 : Vibrations mécaniques : guide concernant les effets des vibrations sur la santé du corps humain

ISO 2631-1, 1997 : Vibrations et chocs mécaniques – Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps – Partie 1 : Spécifications générales

FD CEN/TR 15172-1, février 2006 : Vibrations globales du corps – Guide pour la réduction des risques de vibrations – Partie 1 : Mesures techniques lors de la conception des machines

FD CEN/TR 15172-2, février 2006 : Vibrations globales du corps – Guide pour la réduction des risques de vibrations – Partie 2 : Mesures de prévention sur le lieu de travail

NF EN 14253+A1, février 2008 : Vibrations mécaniques : Mesurage et calcul de l'effet sur la santé de l'exposition professionnelle aux vibrations transmises à l'ensemble du corps : guide pratique.

FD CEN/TS 15730, octobre 2008 : Engins de terrassement – Lignes directrices pour l'évaluation de l'exposition des vibrations à l'ensemble du corps sur les machines à conducteur porté

Bibliographie

- Les vibrations industrielles. INRS, avril 1984.
- Les vibrations aux postes de travail, E. Christ et Coll., Brochure de l'Association Internationale de Sécurité Sociale, éditée par l'INRS, 1989.
- Publication INRS ED 656 : Les vibrations industrielles, Travail et sécurité, n° spécial.
- Publication INRS ED 863 : La main en danger.
- Publication INRS ED 864 : Vibrations, plein le dos
- Publication INRS ED 42 : Les sièges à suspension pour chariots élévateurs.

Ce qu'il faut retenir

Dans l'étude des effets des vibrations il convient de distinguer : les vibrations transmises à l'ensemble du corps (liées aux véhicules par exemple) et les vibrations transmises au système main bras : (machines vibrantes tenues à la main par exemple).

Les effets des vibrations dépendent de leur niveau d'accélération, de leur fréquence, de la durée de l'exposition et de la partie du corps qui la subit.

Des valeurs limites d'expositions sont désormais prévues par une directive européenne.

Dans tous les cas l'action de prévention des risques à la source se révèle la plus efficace.

Effet des vibrations sur l'homme

Il n'y a pas dans le corps humain de récepteurs spécifiques des vibrations. Elles peuvent être ressenties par voie tactile, kinesthésique (récepteurs musculaires, tendineux et articulaires), vestibulaire (détection des accélérations de la tête lors des déplacements), auditive.

Elles vont interférer avec le fonctionnement normal de l'organisme et créer une situation pénible, sinon dangereuse (directement ou indirectement).

Le corps humain, vis à vis des vibrations ne se comporte pas comme un tout (hormis à très basse fréquence) mais comme un ensemble de masses suspendues les unes par rapport aux autres. Les effets physiologiques seront liés à la résonance des différents organes.

Les effets des vibrations seront fonction notamment de l'intensité, de la composition spectrale, de la durée de l'exposition, de l'axe de transmission, de l'état de l'individu, des contraintes physiques (équipement, vêtements...)...

Effet des vibrations de basse fréquence (< à 2 Hz)

Dans ce domaine de fréquence, l'organisme se comporte comme une masse unique, mais l'individu peut souffrir du mal des transports lié au déplacement de véhicules aériens, marins et terrestres.

La stimulation vient des mouvements du véhicule (roulis, tangage, secousses, variation de vitesse) et l'origine des effets est d'ordre vestibulaire et visuel.

Des réactions végétatives peuvent apparaître telles que : pâleur, sueur, nausées, vomissements.

La prévention peut reposer sur la prise de médicaments préventifs.

Effet des vibrations de moyenne fréquence (entre 2 et 30 Hz)

Elles ont pour origine les machines et véhicules (camions, tracteurs agricoles, engins de chantier). Pour les véhicules, les secousses et les vibrations se transmettent au conducteur par l'ensemble du véhicule.

L'amplitude des vibrations varie avec : la vitesse, l'état de la route, le poids du véhicule, avec une fréquence de résonance d'autant plus basse que le poids est important, le régime du moteur et la qualité de sa fixation au véhicule.

Ces vibrations s'exercent en général sur l'ensemble du corps, quelle que soit la position de l'opérateur. En fonction de la fréquence des vibrations, les diverses parties du corps humain se comportent de manière différente (déphasage et résonance de certaines parties du corps par rapport aux autres).

Principaux troubles :

- Digestifs, avec perte d'appétit, constipation, douleurs abdominales, hémorroïdes ;
- Vertébraux : lombalgies, cervicalgies, aggravation des lésions rachidiennes préexistantes, douleur des muscles para-vertébraux ; aggravation par la posture et la manipulation des commandes ;
- Altération de l'équilibre ;
- Troubles visuels, variables selon que seul l'objet vibre ou la personne également.

Effet des vibrations de haute fréquence (> à 30 Hz)

Ces vibrations sont produites habituellement par des machines conçues pour être tenues à la main. Leur fréquence vibratoire est souvent assez élevée : (scies à main : 50-200 Hz, polisseuses et meules à main : 200-800 Hz, forets dentaires à air : 1500 – 2000 Hz...)

Ces outils provoquent des troubles limités essentiellement au membre tenant l'outil.

Des troubles ostéoarticulaires peuvent se manifester, touchant les articulations de la main, du poignet, du coude et de l'épaule. Elles se rencontrent le plus souvent chez les opérateurs utilisant des machines percutantes (marteau piqueur...). Ils consistent en des nécroses osseuses, ramollissement et décalcification de l'os, modification des cartilages, formation d'épines osseuses. Surviennent également des douleurs lors des mouvements et lors de l'utilisation des outils.

Des troubles circulatoires et musculaires peuvent également se manifester, le plus souvent localisés à la main, leur gravité augmentant avec la durée de l'exposition : gonflement et œdème du poignet, avec rougeur et sensation de pesanteur du poignet, perte passagère de sensibilité (doigt mort), syndrome de Raynaud (blanchissement et engourdissement des doigts, rougeurs, sensations de brûlure et de picotement), crampes, tremblements, atrophies musculaires et troubles nerveux de la sensibilité tactile...

Les enquêtes épidémiologiques démontrent que la combinaison de la position assise prolongée et de l'exposition aux vibrations augmente le risque de troubles de la colonne vertébrale (lombalgies, excroissances osseuses, hernies discales...). La combinaison de l'exposition aux vibrations et du port de charges (qui concerne les conducteurs d'engins, caristes, chauffeurs-livreurs...) majore le risque de lombalgies.

Les pathologies liées à l'exposition aux vibrations sont prises en compte depuis 1991 et 1999 par deux tableaux de maladies professionnelles :

Tableau 69 (régime général) : 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.

Tableau 97 (régime général) : Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par des vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier.

Prévention et protection

Il convient de veiller au choix de machines traitées contre les vibrations, qui seront ensuite correctement entretenues.

La réduction des vibrations à la source doit toujours être privilégiée.

Pour les machines fixes : l'utilisation des plots antivibratiles peut réduire la transmission au sol. Pour les machines mobiles il faut essayer de réduire la transmission des vibrations à l'opérateur (par exemple tronçonneuses équipées de dispositifs antivibratiles).

Les gants se révèlent souvent inefficaces car pour une bonne tenue de l'outil, l'opérateur doit serrer plus fort. De même que le port de ceintures et de bandages qui déplacent

légèrement la fréquence de résonance de l'ensemble de l'individu vers les fréquences plus élevées mais qui se révèlent peu efficaces.

Mesures concernant l'homme

- Sélection (exclusion des jeunes de moins de 18 ans, des travailleurs présentant des troubles rachidiens, exclusion des femmes si possible)
- Limitation du temps de travail avec exposition aux vibrations.
- Maintenir une température suffisante, en particulier pour les mains.

Mesures concernant les véhicules

Les vibrations sont transmises au conducteur et aux passagers par le plancher et le siège, par l'intermédiaire de la suspension du véhicule. C'est donc à ce niveau que la réduction de la transmission des vibrations va pouvoir s'effectuer.

La nature des pneumatiques et le mode de gonflage vont influencer la propagation des vibrations. La présence et les caractéristiques de la suspension vont modifier la transmission des vibrations et donc la situation du conducteur, mais aussi les possibilités du véhicule

Il est possible de diminuer la transmission des vibrations aux opérateurs en intercalant des dispositifs de suspension entre la source et la personne tels que des pneus plus souples, une suspension basse fréquence du châssis ou de la cabine et des sièges suspendus adaptés aux caractéristiques dynamiques des véhicules.

Le siège doit être adapté à la gamme de fréquence à éviter (influence de ses caractéristiques propres et de ce qui est transmis par la suspension du véhicule).

Les sièges doivent subir des essais qui doivent avoir lieu pour des niveaux divers d'excitation car la fréquence de résonance et l'amortissement ne sont pas constants.

Les sièges non suspendus sont encore les plus courants mais les technologies les plus diverses peuvent réaliser les qualités mécaniques désirées pour la sellerie (rembourrage du siège).

Les sièges suspendus sont des sièges qui reposent sur une suspension propre (ressort + amortisseur). Ces dispositifs sont efficaces notamment en cas de fortes excitations.

Les sièges actifs (à servomécanisme) permettent un filtrage très efficace des vibrations de basse fréquence situées dans une bande étroite de fréquence.

Il convient de privilégier dans tous les cas des sièges facilement réglables (inclinaison du dossier, appui lombaire) en facilitant la rotation du buste.

La suspension de la cabine par rapport au reste du véhicule permet de réduire l'amplitude des vibrations transmises. C'est un dispositif intéressant dans le cas de véhicules (engins de chantier, tracteurs agricoles) dont l'efficacité est antagoniste de la présence d'une suspension.

Certaines postures aggravent considérablement l'effet des vibrations : c'est le cas du tracteur agricole où le conducteur doit souvent regarder sur le côté et derrière lui, d'où l'adoption d'une posture défavorable (torsion bassin/thorax). La localisation des commandes à utiliser simultanément est très importante.

Réglementation

La directive européenne 2002/44/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux vibrations a été publiée en juin 2002. Elle devrait être transposée en droit français au plus tard en juillet 2005.

Cette directive prévoit notamment les mesures suivantes :

- La détermination d'une valeur (accélération équivalente) à partir de laquelle des actions de prévention doivent être engagées : $0,5 \text{ m/s}^2$ (ensemble du corps) et $2,5 \text{ m/s}^2$ (système main bras).
- La détermination de valeurs limites d'exposition journalière ($1,15 \text{ m/s}^2$ pour l'ensemble du corps et 5 m/s^2 pour le système main bras).

Les actions consistent à informer les travailleurs des risques et à mettre en œuvre un programme de mesures techniques et organisationnelles pour réduire les vibrations (évaluation régulière des niveaux vibratoires, maintenance du matériel, surveillance médicale...).

En ce qui concerne les règles techniques applicables aux machines, l'annexe I du code du travail définissant les règles techniques de conception et de construction prévues par l'article R. 233-84, fixe les règles à respecter dans le cas des vibrations mécaniques.

Ces textes précisent des règles générales et techniques de protection contre les risques dus aux vibrations applicables aux machines neuves: « La machine doit être conçue et construite pour que les risques résultant des vibrations produites par la machine soient réduits au niveau le plus bas possible compte tenu de la disponibilité de moyens de réduction des vibrations, notamment à la source ». En outre, en ce qui concerne les machines tenues ou guidées à la main, la notice d'instructions doit indiquer l'accélération, à laquelle sont exposés les membres supérieurs, lorsqu'elle dépasse $2,5 \text{ m/s}^2$. Lorsque l'accélération ne dépasse pas $2,5 \text{ m/s}^2$, ce fait doit être mentionné.

Lorsqu'une machine mobile est équipée d'une cabine, celle-ci doit être conçue, construite et/ou équipée pour protéger le conducteur contre les risques dus à l'excès de vibrations. Le siège du conducteur doit être conçu pour réduire au niveau le plus bas raisonnablement possible les vibrations transmises au conducteur. La notice d'instruction doit comporter des indications sur les vibrations de la machine.

Les tracteurs agricoles neufs doivent être équipés de sièges homologués qui sont testés en laboratoire sur simulateur de vibrations. Une étiquette est apposée sur le siège indiquant son homologation et la classe de tracteur à laquelle il est adapté.

Le décret 2005-746 du 4 juillet 2005

Par ce décret, transposant la directive 2002/44 CE, il est créé un titre IV du livre IV de la 4^{ème} partie du code du travail.

Prévention du risque d'exposition aux vibrations mécaniques

Date d'application du décret : 6 juillet 2005 avec période transitoire de 5 ans pour certains équipements de travail mis en service avant le 6 juillet 2007 et pour lesquels les mesures de prévention ne permettent pas de respecter les valeurs limites (arrêtés du 4 mai 2007 et du 3 juillet 2007).

Articles	Eléments de contenu	Commentaires
R. 4441-1	Définitions : <ul style="list-style-type: none"> Vibrations transmises aux mains et aux bras Vibrations transmises à l'ensemble du corps 	Maladies professionnelles : <ul style="list-style-type: none"> Tableau n° 69 Tableau n° 97
R. 4441-2	Indicateurs (paramètres physiques conduisant au calcul à la valeur d'exposition journalière sur 8 h)	Arrêté du 6 juillet 2005 précise le mode de détermination de ces paramètres
R. 4443-1	Valeur limite d'exposition journalière : <ul style="list-style-type: none"> Mains/bras : 5 m/S² Ensemble du corps : 1,15 m/S² 	Valeur à ne pas dépasser (sauf dérogation pendant la période transitoire).
R. 4443-2	Valeur d'exposition journalière déclenchant l'action de prévention prévue aux articles R.4445-1 et R.4446-1 : <ul style="list-style-type: none"> Mains/bras : 2,5 m/S² Ensemble du corps : 0,5 m/S² 	Ce sont en quelque sorte, des valeurs seuils.

Sous-section 2 : Obligations de l'employeur

R. 4444-1 A R. 4444-4	Evaluation (voire mesurage) des niveaux de vibration : <ul style="list-style-type: none"> Par des personnes compétentes, A intervalles appropriés, Dont les résultats sont conservés 10 ans, Et tenus à disposition des IRP, MW, IT, CRAM 	Le décret ne dit rien de plus sur la compétence. Cependant, la directive « vibration » renvoie à l'article 7 de la directive cadre (89/391) : l'employeur désigne les personnes (ou services) compétents.
R. 4444-5	Eléments à prendre en compte pour évaluer les risques : conditions d'exposition, valeurs d'exposition (limites et seuils), travailleurs particuliers (cf. R. 4624-19 et 4619-20), données des fabricants, interactions avec l'environnement de travail, état de la technique, données du médecin du travail...	
R. 4722-9	Pour garantir le respect des obligations de la présente section, possibilité de mise en demeure par l'IT de faire procéder à un mesurage des niveaux de vibration par un	Arrêté à venir précisant les conditions d'accréditation et les méthodes de mesurage

	organisme accrédité.	
R. 4442-2	Référence aux principes généraux de prévention	
R. 4445-1	Si les valeurs déclenchant l'action (cf. 4443-2) sont dépassées, mise en œuvre d'un programme de mesures techniques et/ou organisationnelles.	L'article R. 4445-2 propose une liste de telles mesures : changement des procédés ou équipements de travail, mise en place d'interfaces antivibratiles, entretien correct des équipements, modification des lieux et postes de travail, mesures d'organisation, ...
R. 4445-6	Si les valeurs limites ont dépassées, mise en œuvre de mesures immédiates.	
R. 4447-1	Information et formation des travailleurs	

Sous-section 3 : Surveillance médicale renforcée

R. 4446-1	Surveillance médicale renforcée pour les travailleurs exposés à des niveaux de vibration supérieurs aux valeurs déclenchant l'action	
R. 4446-2 et R. 4446-3	En cas de maladie due à une exposition aux vibrations, obligation d'information du médecin vis-à-vis du travailleur et de l'employeur, qui prend alors toute mesure pour réduire ou supprimer les risques, jusqu'au changement éventuel d'affectation du travailleur.	