

COURS DE NUISANCES VIBRATIONS

S2 / 2019/2020

Mr KEDDAR Med

Définition :

- quand l'air vibre, l'oreille l'entend: on parle de bruit
 - quand un siège, une machine, un matériau vibre, les pieds, les cuisses, les mains le ressentent: on parle de vibrations.
- on mesure le bruit en décibels au moyen d'un sonomètre
- on mesure les vibrations en accélération, en mètres par seconde au carré (ms^{-2}) au moyen d'appareils complexes et coûteux que possèdent les experts.

Fréquences:

- si l'air vibre peu de fois par seconde, le bruit est de basses fréquences et est de tonalité grave

s'il vibre beaucoup de fois par seconde, il est de hautes fréquences et aigu

- si la machine vibre peu de fois par seconde (chocs d'un marteau piqueur), on parle de basses fréquences et la vibration risque de se propager loin dans le corps
- si la machine vibre beaucoup de fois par seconde (meuleuse, tronçonneuse ...), il s'agit de vibrations de hautes fréquences qui seront absorbées dans les cuisses ou les mains.

- l'oreille entend des bruits de fréquences comprises entre 20 Hz (20 oscillations par seconde) et 20.000 Hz.

- par contre, le corps est sensible aux fréquences

- En dessous de 1 Hz : c'est le mal des transports (mal de mer): nausées, pertes d'équilibre ...

- Entre 1 et 100 Hz pour les engins de transport: les vibrations entrent par les pieds, le siège et le dos et vont concerner essentiellement la colonne vertébrale



- l'oreille n'entend pas de la même façon toutes les fréquences: on mesure alors le bruit avec un appareil spécial (circuit de pondération) et on l'exprime en dB(A), tel qu'il est entendu, plutôt qu'en dB, tel qu'il existe

- Il en est de même des vibrations et elles sont exprimées en accélération pondérée, telles qu'elles sont ressenties, plutôt qu'en accélération, telles qu'elles existent vraiment.

- le sonomètre mesure le bruit de la même façon, indépendamment d'où il vient

- L'appareil de mesurage des vibrations ne mesure que les vibrations dans une certaine direction.

C'est pourquoi l'expert doit mesurer les vibrations dans 3 axes.

- ❖ axe X, dans le sens horizontal, avant – arrière
- ❖ axe Y, dans le sens horizontal, gauche – droite
- ❖ axe Z, dans le sens vertical.

il est difficile de donner l'ordre de grandeur des vibrations sur un engin car les vibrations ne dépendent pas uniquement de l'état de l'engin mais aussi, entre autres choses, de l'état de la route, de la manière de conduire ou de la conduite à vide ou en charge



1 - voiture sur asphalte $0,3 \text{ ms}^{-2}$



2 - camion sur route ordinaire $0,5 \text{ ms}^{-2}$



3 - camion sur pavés $0,7 \text{ ms}^{-2}$



4 - camion tout terrain (avec chocs) $> 0,7 \text{ ms}^{-2}$

La directive européenne 2002/44/CE

fixe des valeurs limites tenant compte non seulement de l'axe vertical mais aussi des deux axes transversaux et de la plus grande sensibilité du corps humain selon ces deux axes transversaux. La valeur à considérer est par conséquent la valeur maximale des accélérations pondérées relevées dans les 3 axes, les accélérations dans les deux axes transversaux devant être multipliées par 1,4:

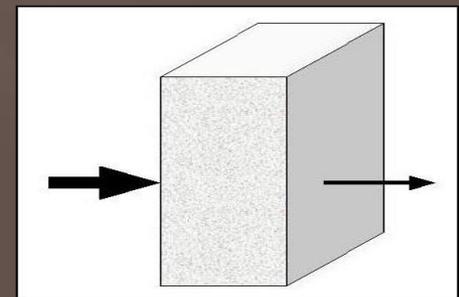
- valeur d'exposition journalière (8 heures) déclenchant l'action (informer, former, prévention...): **$0,5 \text{ ms}^{-2}$**

- valeur limite d'exposition journalière (8 heures): **$1,15 \text{ ms}^{-2}$**

Matériaux résilients

Il est important de faire la distinction entre les **3 types** de matériaux suivants:

• **Matériaux absorbants:** laines minérales, mousses, bois expansé, matériaux poreux, ils servent à réduire le bruit à l'intérieur du local

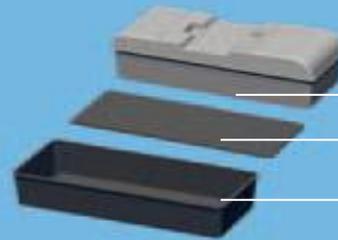


2. **Matériaux isolants:** béton, briques, plâtre, matériaux lourds

- ils empêchent le bruit de passer d'un local à l'autre

3. **Matériaux résilients:** feutre, liège, caoutchouc, ressorts, ...

- ils empêchent les vibrations mécaniques: par exemple, la main sur une cloche ou sur une tôle qui vibre, arrête les vibrations et le bruit émis
 - le matériau doit être caoutchouteux et ne pas être écrasé
 - ❖ le béton n'arrête rien et un choc sur un mur est entendu partout
 - ❖ le mousse est écrasé et n'arrête rien
- les matériaux caoutchouteux (les silentblocs) bloquent mieux les vibrations rapides que lentes.



— Blochet en béton indépendant

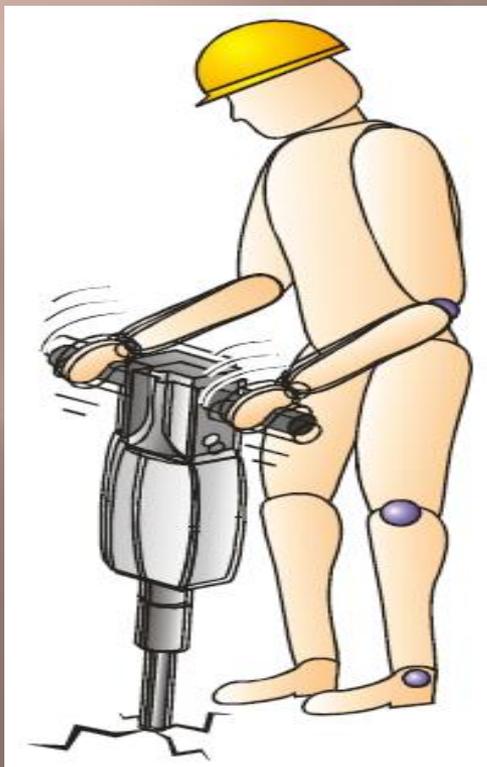
— Semelle élastique

— Chausson en caoutchouc



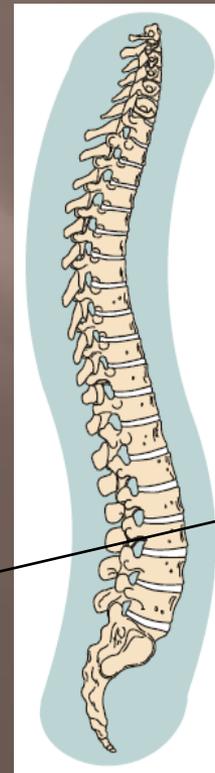
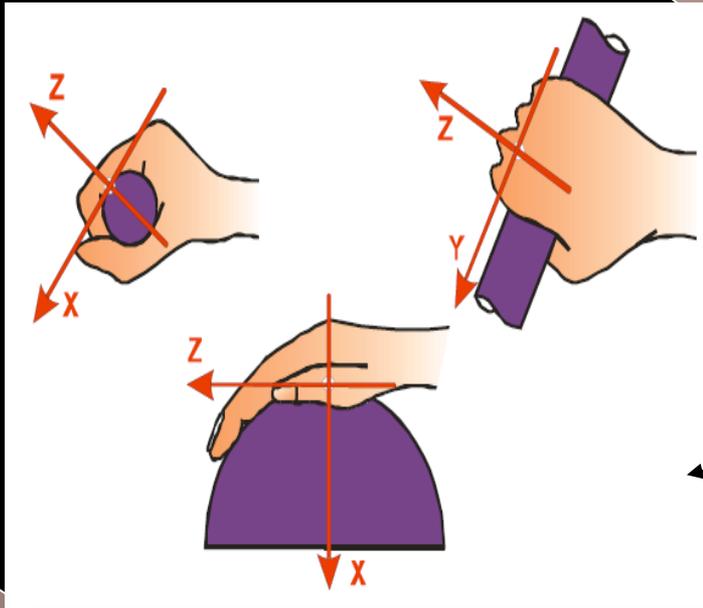
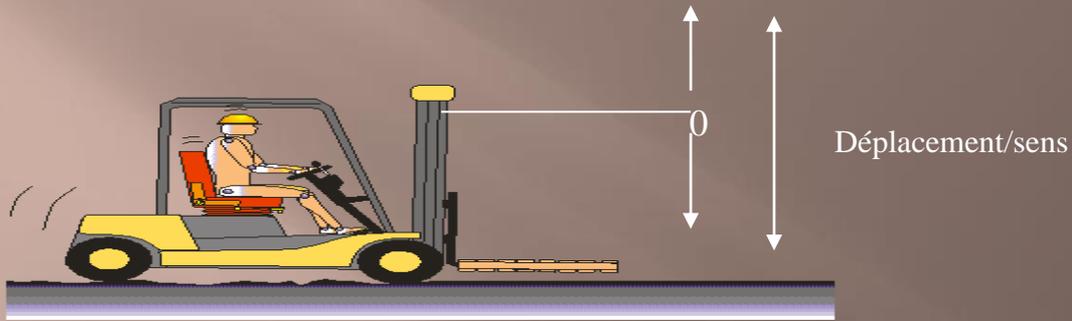
QU'EST-CE QU'UNE VIBRATION ?

Des vibrations apparaissent quand un corps oscille sous l'effet de forces externes et internes,. Dans le cas de vibrations mains-bras, la poignée d'une machine ou la surface d'une pièce vibre rapidement en va-et-vient, et ce mouvement se transmet dans la main et le bras.



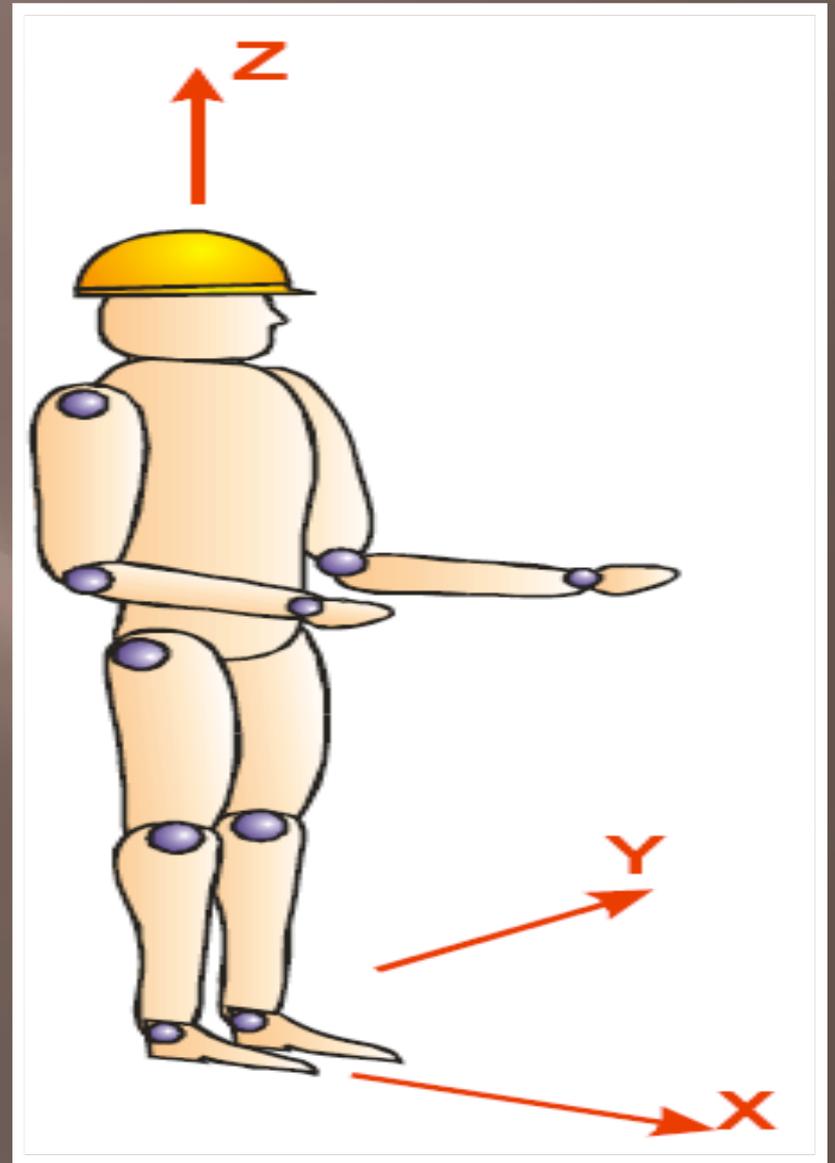
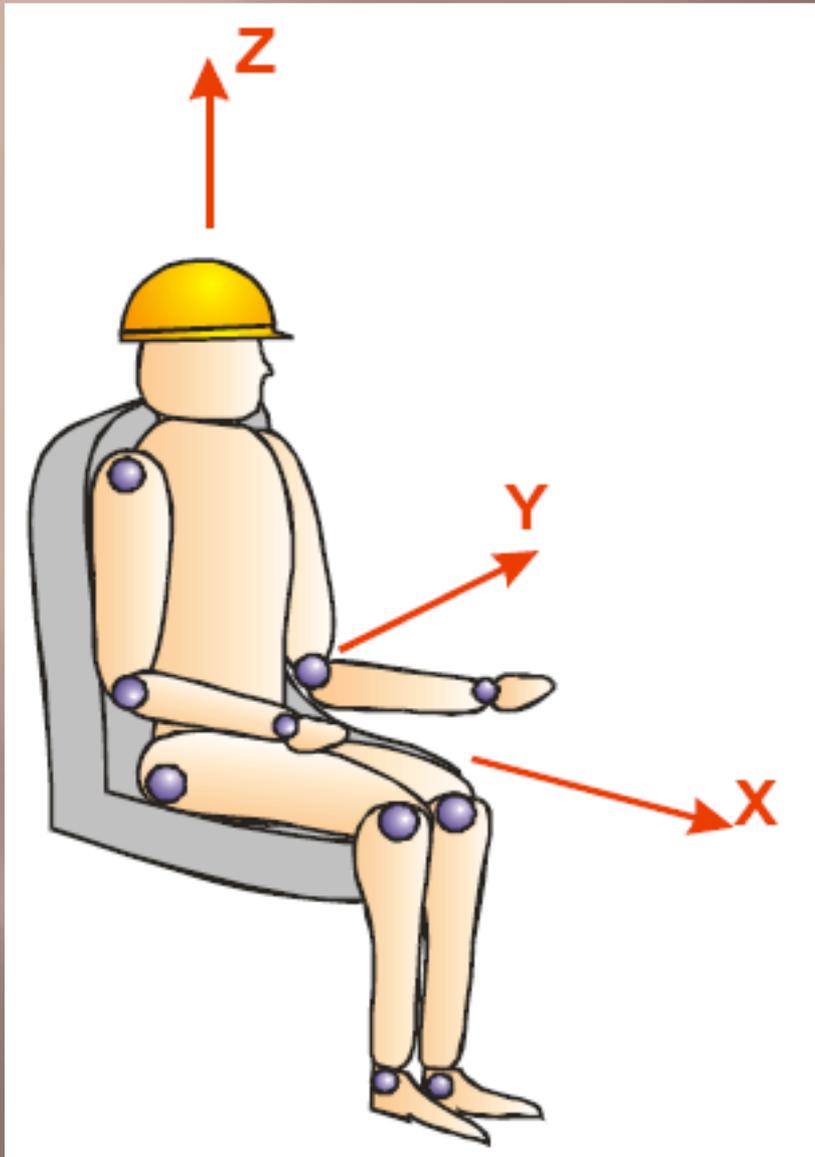
QUE MESURE-T-ON ?

On définit une vibration par son amplitude et sa fréquence. On peut considérer que l'amplitude de la vibration correspond au déplacement de la vibration (en mètres), à la vitesse de la vibration (en mètres par seconde) ou à l'accélération de la vibration (en mètres par seconde au carré, ou m/s^2). Cependant, la plupart des capteurs de vibrations délivrent un signal de sortie qui est lié à l'accélération ; traditionnellement, on utilise donc l'accélération pour décrire les vibrations



Pour obtenir une représentation complète des vibrations agissant sur une surface, il est nécessaire de mesurer les vibrations dans trois directions, comme le montre le schéma

Colonne
vertébrale



La vibration est définie en physique comme un mouvement autour d'une position d'équilibre des particules

- d'un milieu élastique *pour les vibrations acoustiques*
- d'un système matériel élastique **pour les vibrations mécaniques.**

C'est un mouvement rapide de va-et-vient exécuté par l'ensemble des molécules d'un corps qu'une action a écarté de leur position d'équilibre.

Chaque vibration se transmet de proche en proche au milieu environnant

Amplitude, fréquence et valeurs vibratoires

Les vibrations se définissent par une *amplitude* et à l'aide d'une ou de plusieurs *fréquences*.

L'amplitude, qui est l'écart maximum entre un corps et sa position d'origine, s'exprime généralement en accélération (m/s^2) sur 3 axes ou sens de propagation :

X : vibrations horizontales perpendiculaires au tronc (avant-arrière) ;

Y : vibrations latérales, transversales du tronc (gauche-droite) ;

Z : vibrations verticales (haut-bas).

La fréquence est le nombre de fois par seconde où le corps vibrant va dans un sens puis dans l'autre. Elle s'exprime en nombre de cycles/seconde ou Hertz (Hz). La fréquence se situe dans la gamme de 0,7 à 100 Hz, au-delà les vibrations sont absorbées ou dissipées dans les tissus superficiels.

La valeur vibratoire est calculée en fonction du niveau de vibrations généré par l'outil utilisé et le temps d'utilisation (valeur vibratoire/temps de travail effectif). Elle peut varier selon le type de sol, la vitesse du véhicule ou la tâche effectuée

Directive Européenne 2002/44/CE

C'est la directive dite "vibration".

Norme ISO 10326

"Vibrations mécaniques - Méthode en laboratoire pour l'évaluation des vibrations du siège du véhicule"

Norme ISO 2631

"Vibrations et chocs mécaniques - Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps"

Norme ISO 5349

"Vibrations mécaniques -- Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main"

Norme ISO 8041

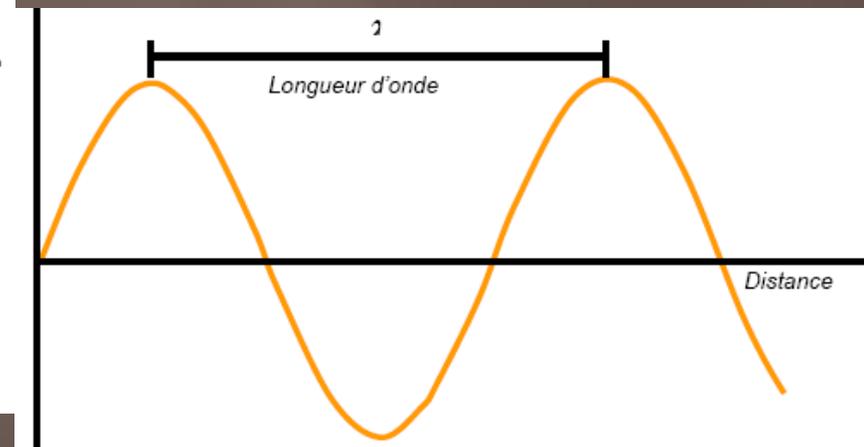
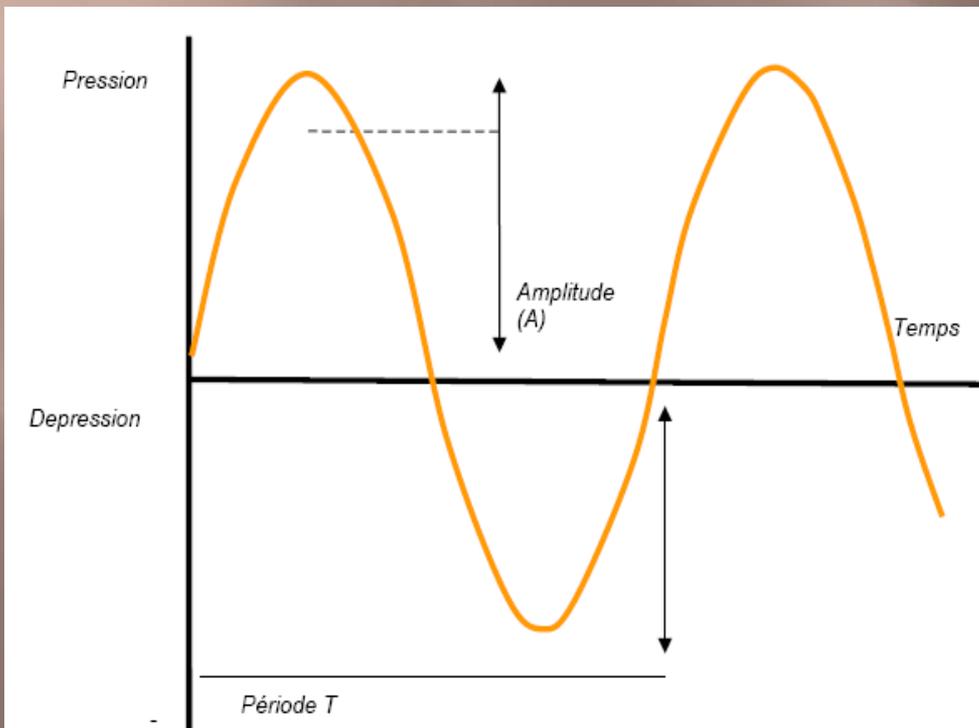
"Réponse des individus aux vibrations -
Appareillage de mesure"

VIBRATIONS

Les oscillations mécaniques comprennent entre autre/

- Les secousses pour les bâtiments
- et les vibrations. pour les machines et appareils.

$$A = (2\pi f)^2 D \quad A = \text{accélération}, f = \text{fréquence}, D = \text{déplacement}$$



· globes oculaires : 60 à 90 Hz

Tête

tête : 20 à 30 Hz.

Cœur: 4 à 8 Hz.

Cage thoracique

thorax : 3 à 7 Hz

Système bras/:épaule

Système thorax/Abdomen

· masse thoraco-abdominale : 4 à 9 Hz.

Colonne vertébrale

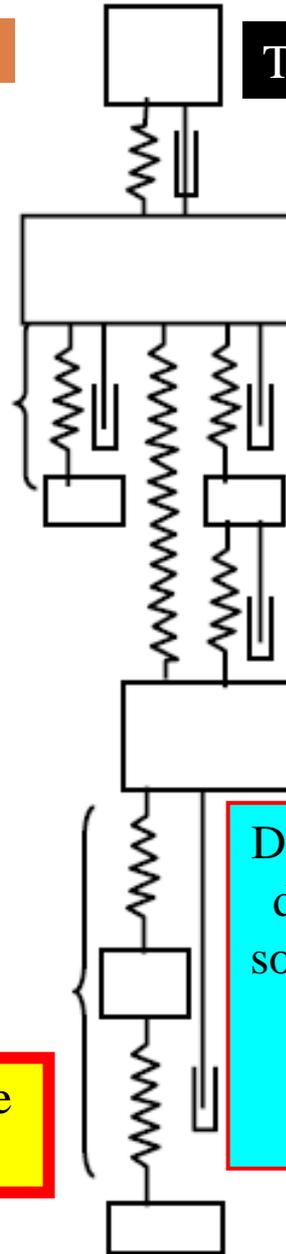
Hanche

· Bassin : 4 à 9 Hz

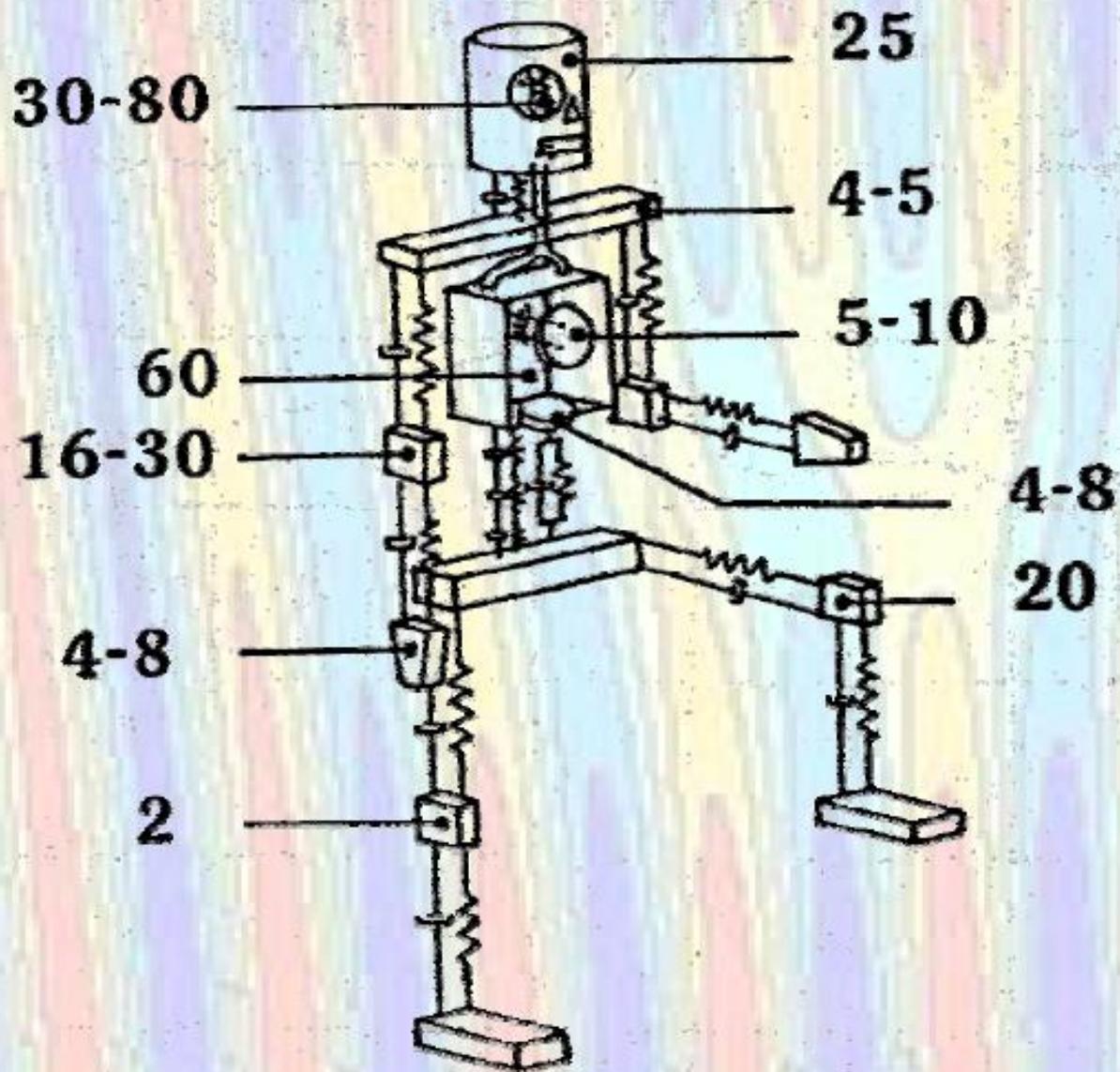
Jambe

Corps humain et analogie biomécanique

Des phénomènes de résonance des organes apparaissent. Ils sont susceptibles de provoquer des effets physiologiques, psychologiques et pathologiques.



résonances du corps humain (en Hz) axe vertical



**Douleurs,
Raideurs
Gêne
Inconfort**

**par fatigue,
irritation,
...**

au niveau:

de la nuque

des épaules

des coudes

des poignets

des mains

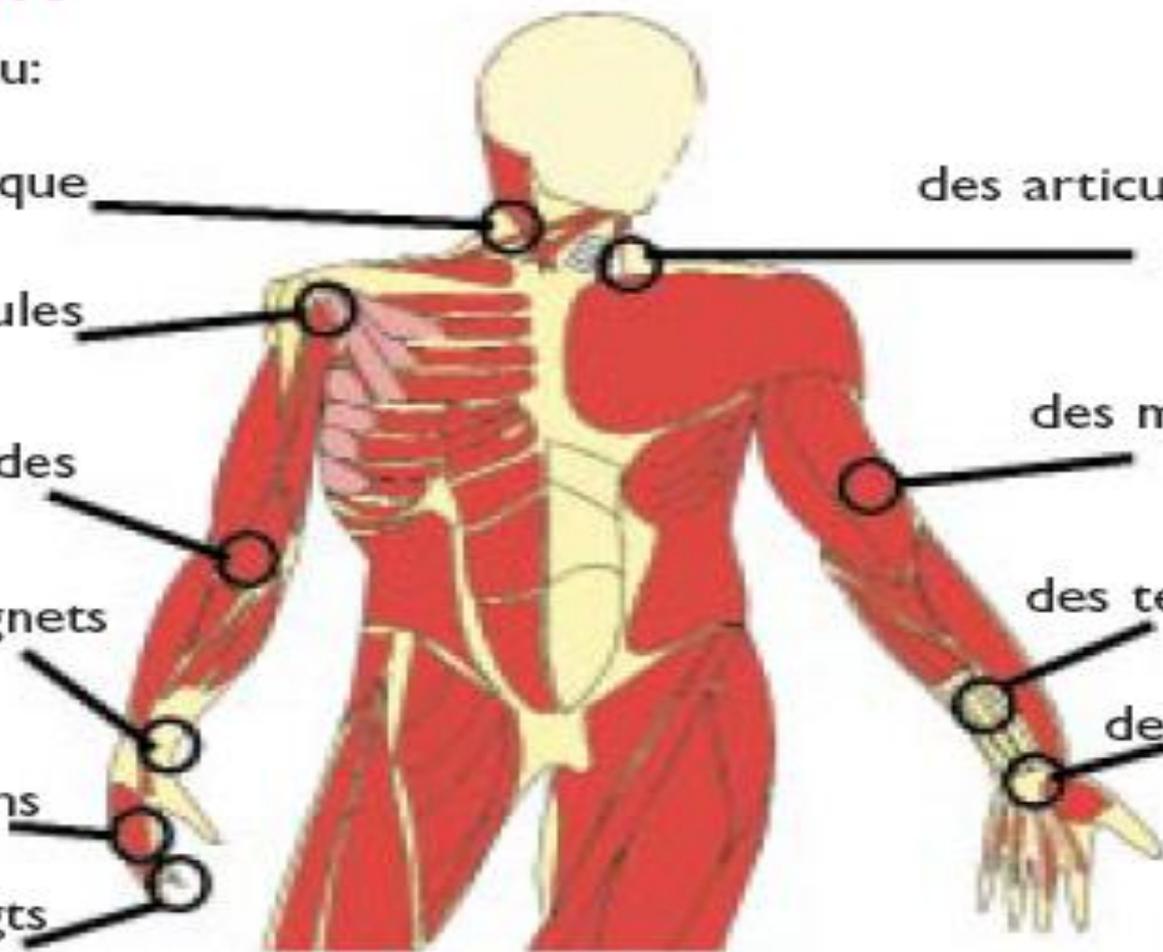
des doigts

des articulations

des muscles

des tendons

des nerfs



Principales Localisations

De bas en hauts :

Genoux : Hygroma, Tendinites.

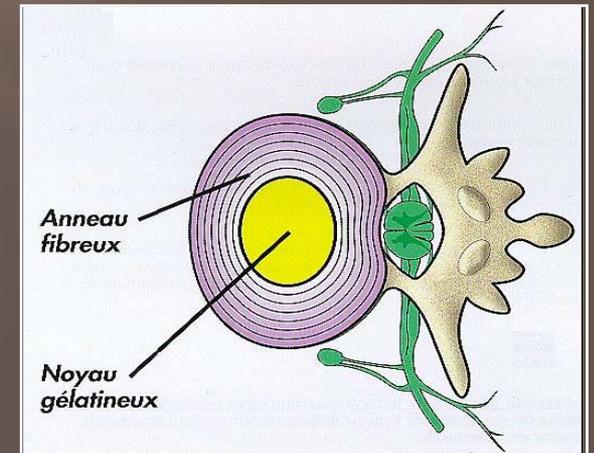
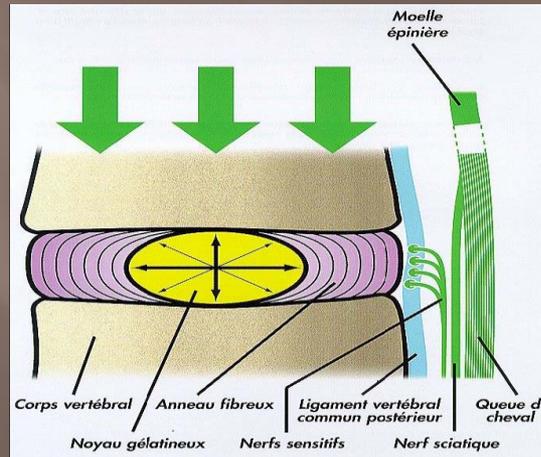
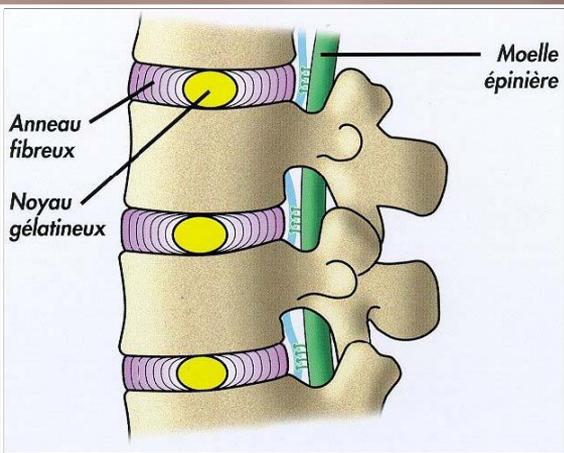
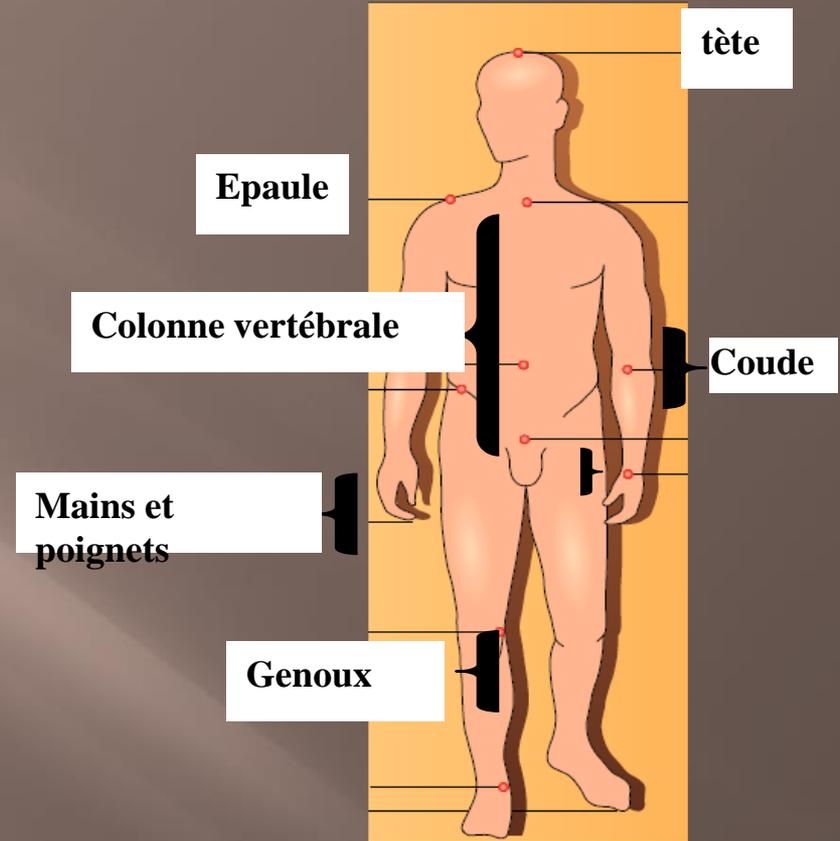
Colonne vertébrale : Lombalgie, Dorsalgie, Cervicalgie.

Epaule : Tendinites de la coiffe des rotateurs

Coude : Tendinites, Hygroma, épicondylites.

Mains et poignets : Syndrome de compression

(Ex : canal carpien) etc



TROUBLES MUSCULOQUELETTIQUES

du dos et des membres supérieurs (TMS)

Stratégie d'évaluation et de prévention des risques

Stratégie d'évaluation et de prévention des risques

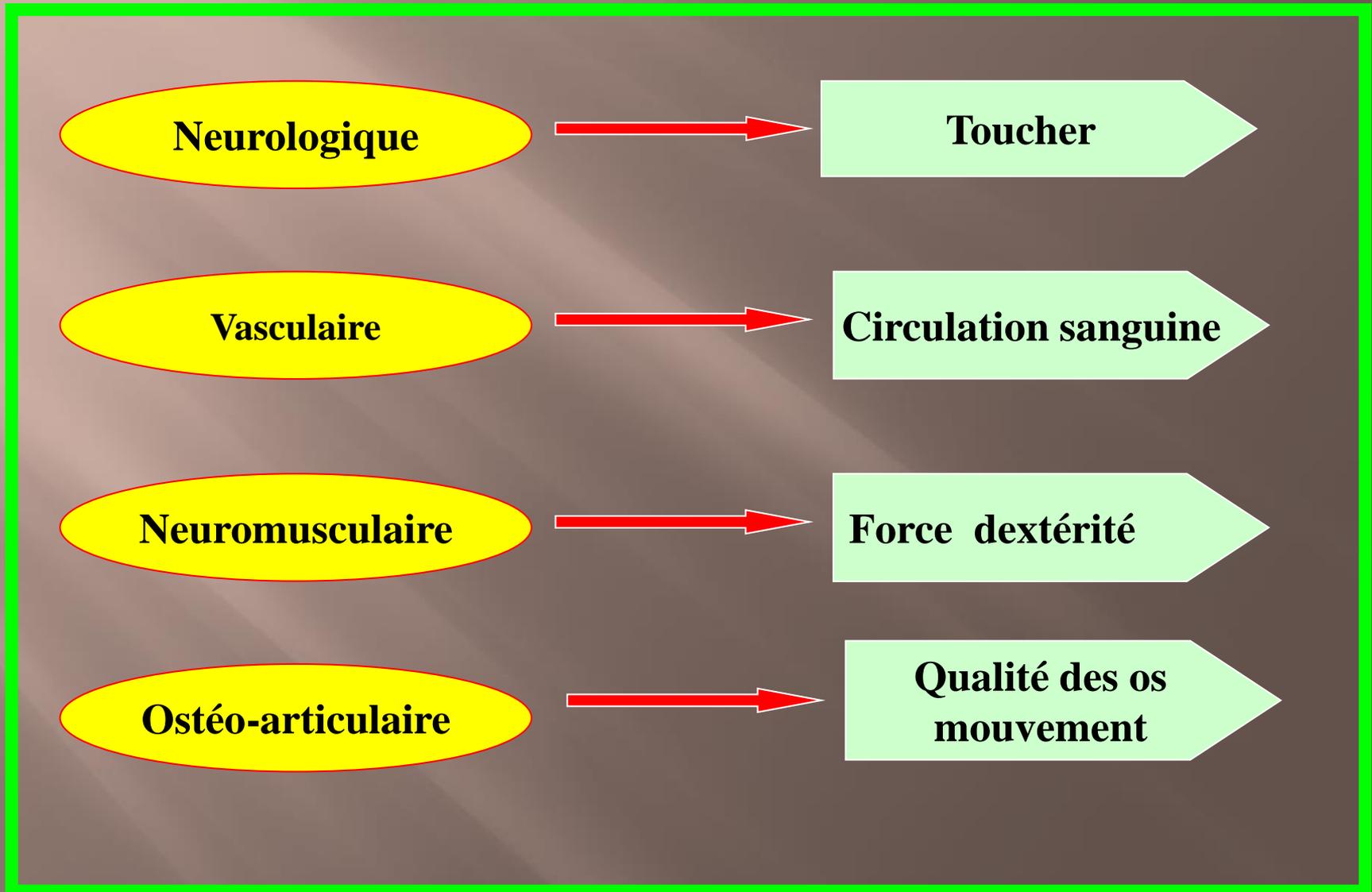
1

L'objectif principal de l'analyse des risques de troubles musculo-squelettiques (TMS) est: non pas de quantifier ces risques, mais de les prévenir, ou de les éliminer ou tout au moins de les réduire.

2

La stratégie est ainsi basée sur une approche progressive quatre niveaux dont les caractéristiques sont résumées au tableau 1. Elle est illustrée par la figure 1

EFFETS NOCIFS DES VIBRATIONS TRANSMISES AUX MAINS-BRAS



Complexité
démarche,
méthode

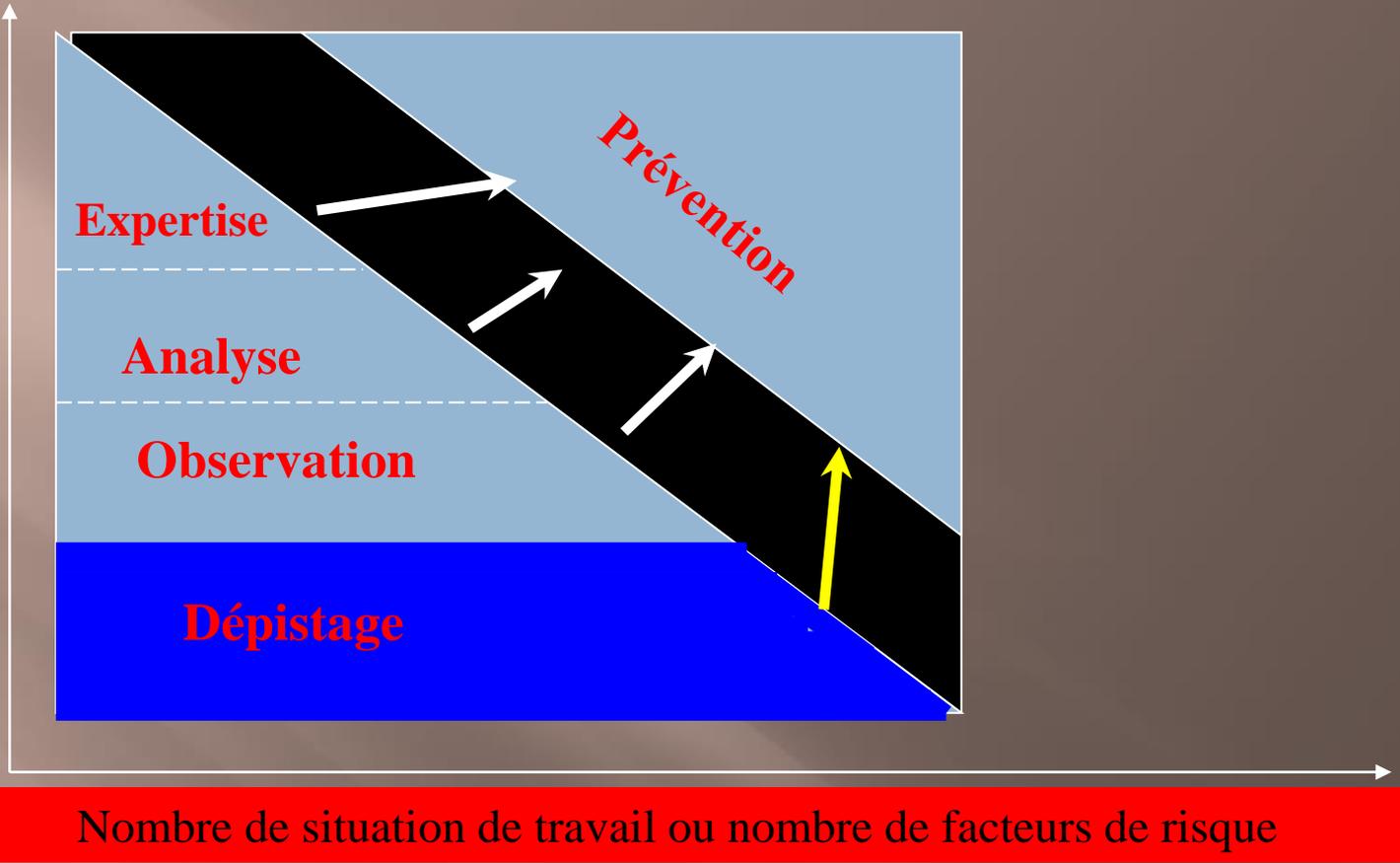
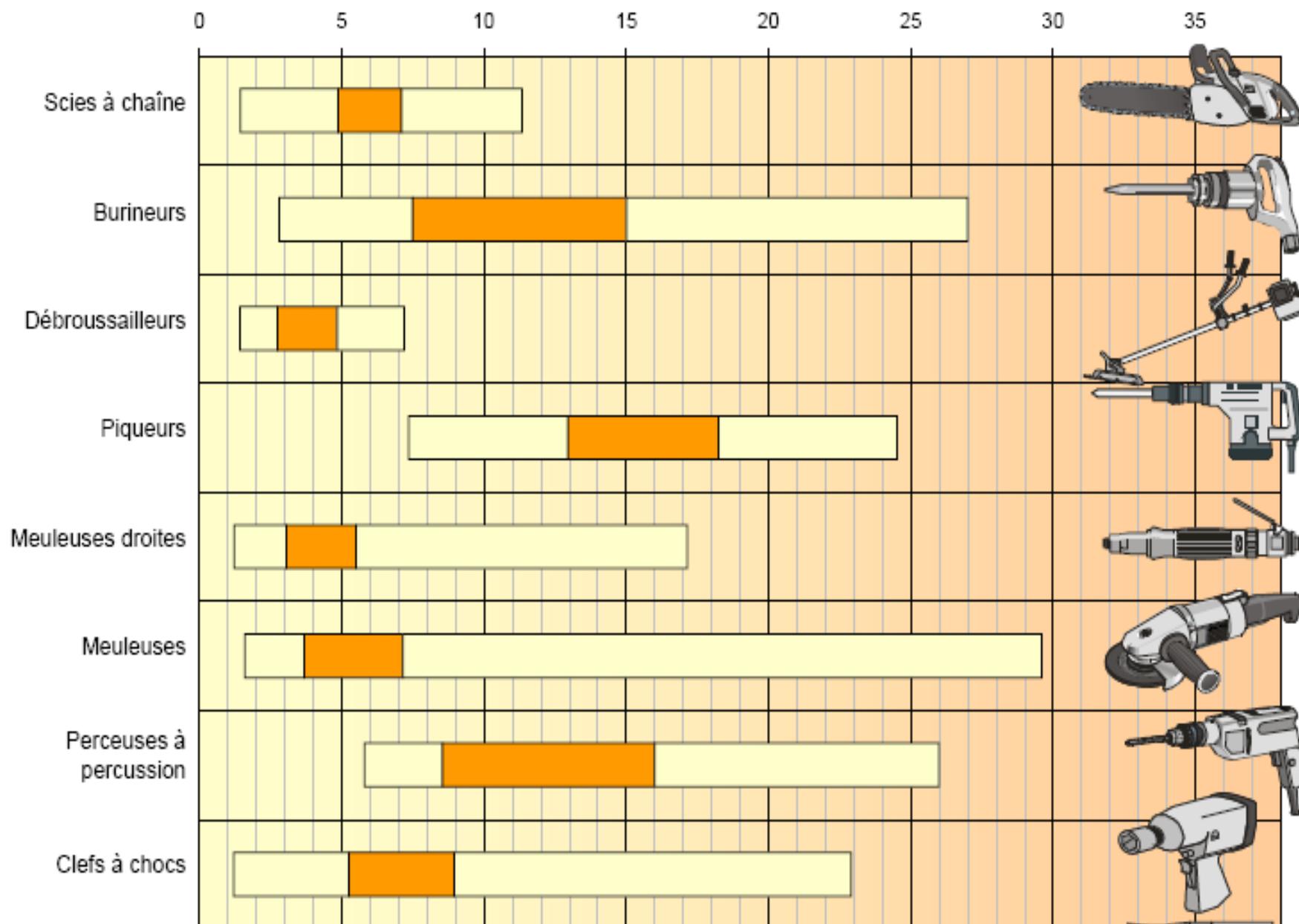


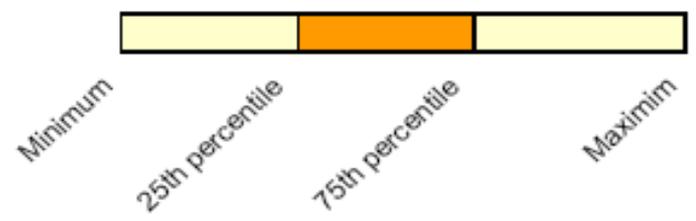
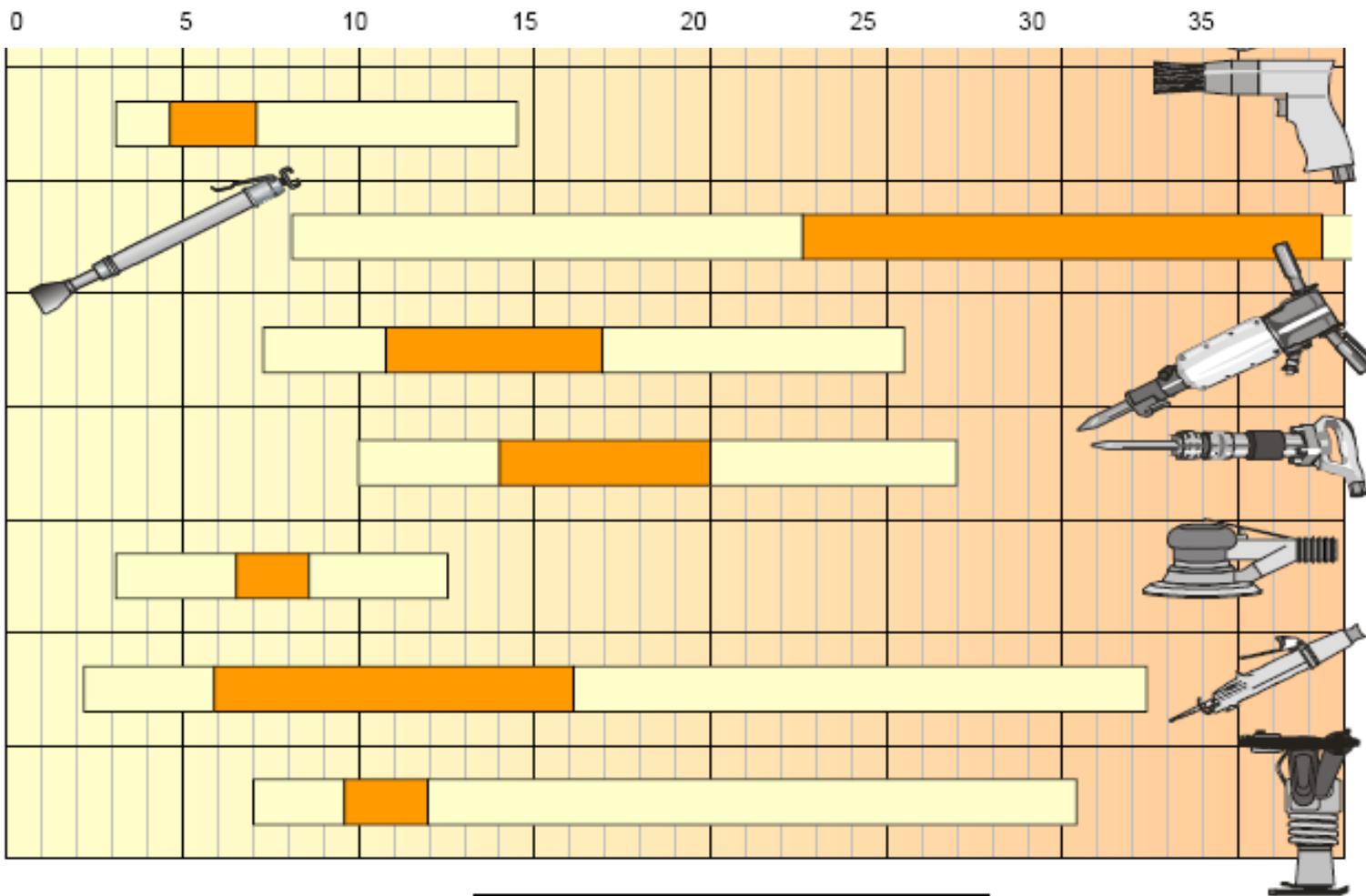
Tableau 1: Comparaison des quatre niveaux de la stratégie

	Niveau 1 Dépistage	Niveau 2 Observation	Niveau 3 Analyse	Niveau 4 Expertise
Quand?	Tous les cas	Si problème	Cas difficiles	Cas complexes
Comment?	Observations simples	Observations qualitatives	Observations quantitatives	mesurages Spécialisée
Coût ?	faible 10 minutes	Faible 2 heures	Moyen 2 jours	Elevé 2 semaines
Par qui?	Personnes de l'entreprise	Personnes de l'entreprise	Personnes de l'entreprise + préventeurs	Personnes de l'entreprise + préventeurs + experts
Compétence travail ergonomie	élevé faible	élevé moyenne	Moyenne élevé	Faible spécialisée

Accélération a_{hv} (m/s²)

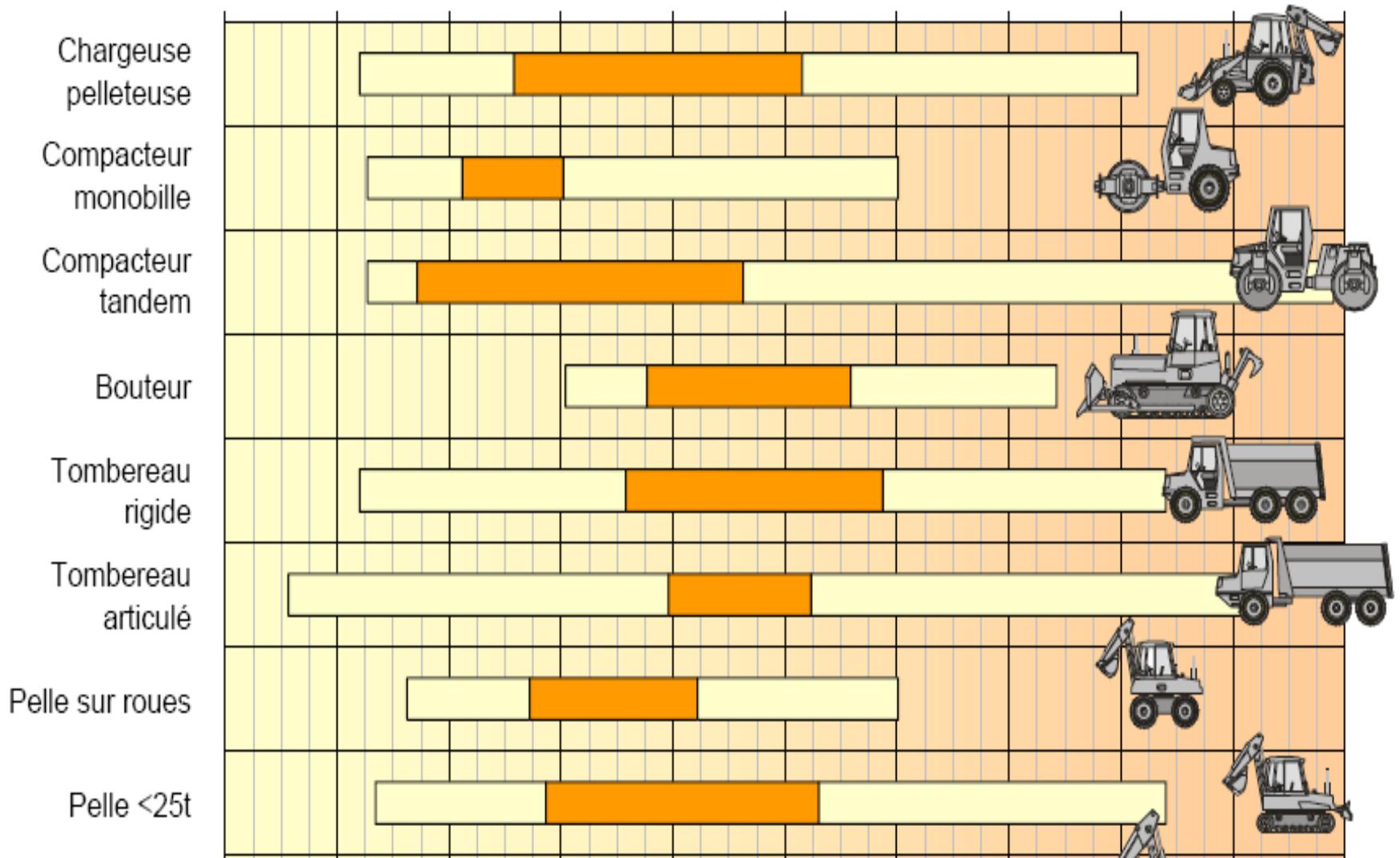


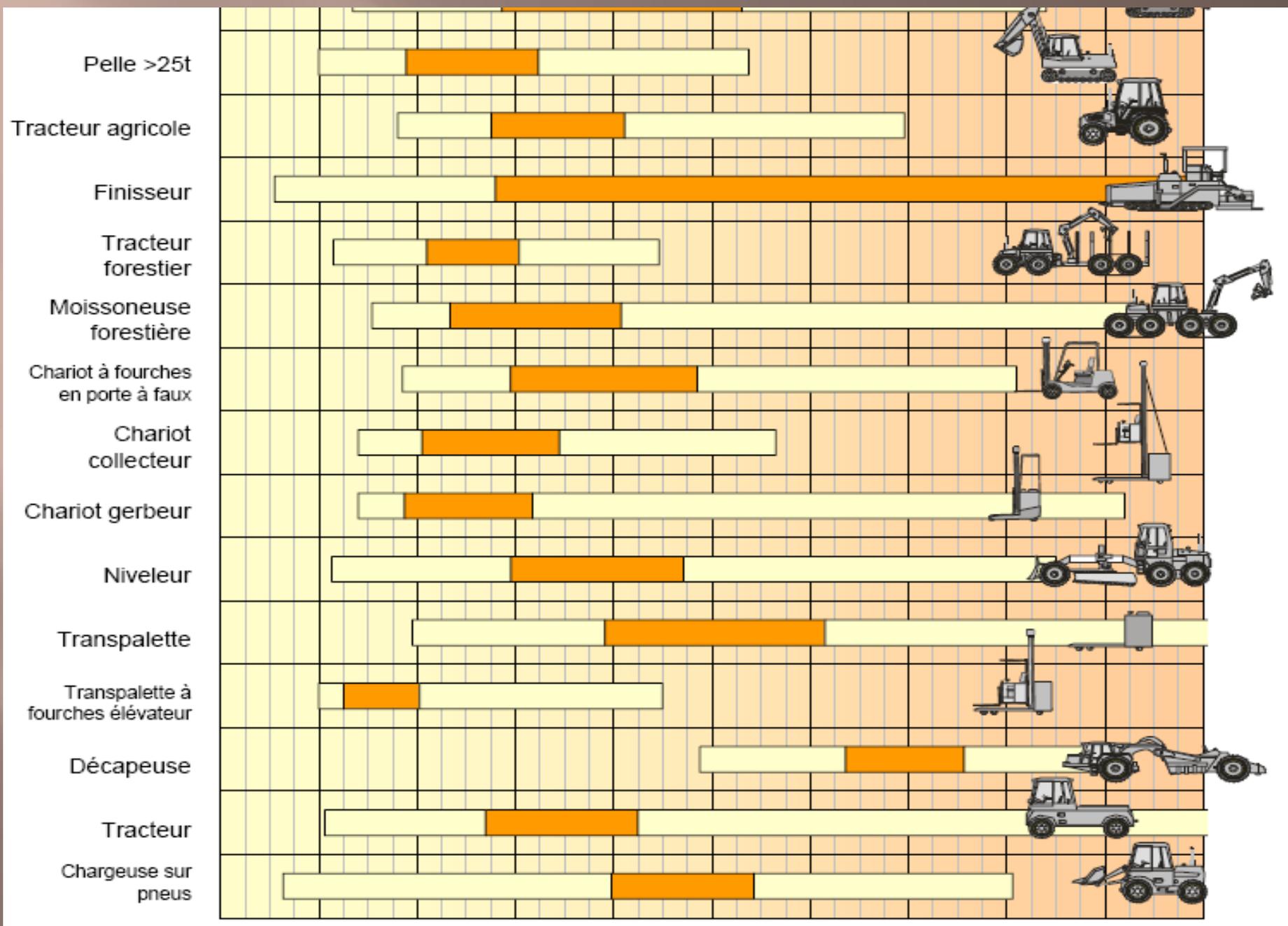
Accélération a_{hv} (m/s²)



Acceleration (m/s²)

0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0

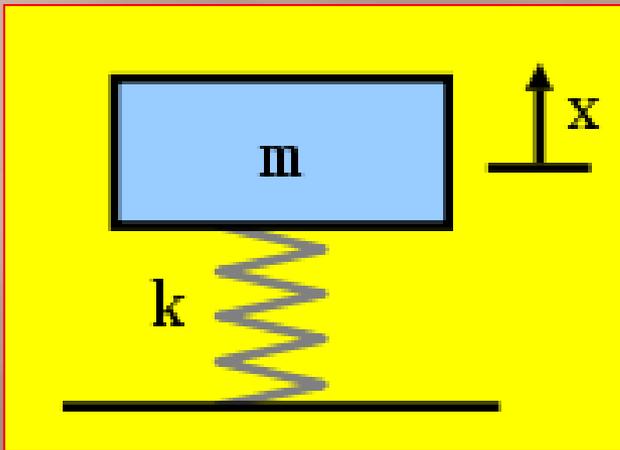




Exemple d'une mesure de vibration sur un marteau pneumatique



ACCÉLÉROMÈTRE



avec:



: l'accélération de la masse m et y la position du support (par rapport à un référentiel galiléen).

Un accéléromètre peut être schématisé Par un système masse-ressort.

On peut montrer à l'aide du principe fondamental de la dynamique pour un système non-amorti que :

$$m\ddot{x} + kx = ky$$

Il apparaît clairement que cette accélération est proportionnelle à $x - y$. En mesurant simplement le déplacement de la masse m par rapport à son support, on peut connaître l'accélération subie par ce dernier

Le principe de tous les accéléromètres est basé sur la loi fondamentale de la dynamique $F = m \cdot a$ (F : force (N), m : masse (kg), a : accélération (m/s^2) aussi notée γ). Plus précisément, il consiste en l'égalité entre la force d'inertie de la masse sismique du capteur et une force de rappel appliquée à cette masse. On distingue deux grandes familles d'accéléromètres : les accéléromètres non asservis et les accéléromètres à asservissement.

Professions exposées aux vibrations mécaniques

De très nombreux secteurs d'activité professionnels exposent les salariés aux vibrations mécaniques .

- >> Vibrations mécaniques transmises aux mains et aux bras
- >> Vibrations mécaniques transmises au corps entier
- >> Valeur limite d'exposition

Les secteurs du bâtiment, des travaux publics, des mines et carrières, la fonderie, la métallurgie, l'agriculture, l'industrie du bois, le transport routier sont concernés



Vibrations mécaniques transmises aux mains et aux bras:
L'utilisation des outils suivants expose aux vibrations mécaniques:

- ❖ Marteaux piqueurs.
- ❖ Burineurs.
- ❖ Perforateurs.
- ❖ Perceuses.
- ❖ Polisseuses.
- ❖ Meuleuses.
- ❖ Scies à chaîne.
- ❖ Tronçonneuses.
- ❖ Débroussailleuses.
- ❖ Pistolets de scellement.
- ❖ Cloueuses.
- ❖ Riveteuses.

Vibrations mécaniques transmises au corps entier:
L'utilisation des véhicules suivants expose aux vibrations mécaniques:

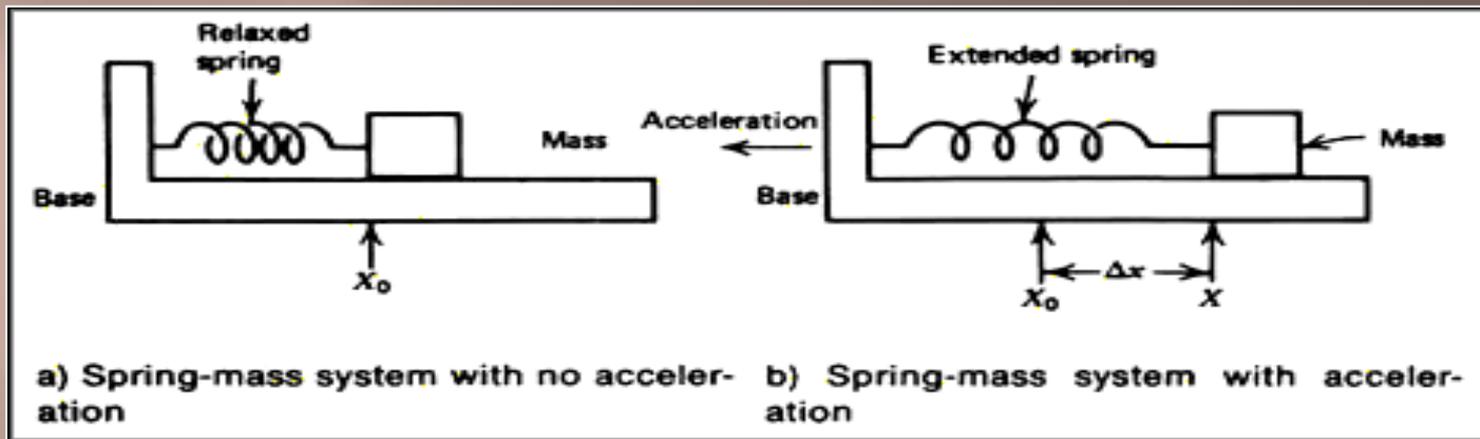
- ❖ Engins de chantier de BTP.
- ❖ Engins agricoles.
- ❖ Engins Forestiers.
- ❖ Chariots automoteurs à conducteur porté.
- ❖ Camion poids lourds.
- ❖ Certaines machines industrielles.



Important :

Valeur limite d'exposition : Il existe une valeur limite d'exposition journalière pour les vibrations mécaniques : La valeur limite d'exposition journalière rapportée à une période de référence de 8 heures est fixée à :

- ❖ 5 m/s² pour le bras et la main;
- ❖ 1,15 m/s² pour le corps.



La source de base de l'accéléromètre système de masse

La loi de Newton stipule simplement que si une masse, m , connaît *une* accélération, où une force F agissant sur la masse et donné par $F = ma$. La loi. Hooke stipule que si un ressort de source constante (de raideur) k est étirée à partir de sa position d'équilibre sur une distance Δx , alors il doit y avoir une force agissant sur le ressort donné par $F = -kdx$.

$$ma = K \Delta x$$

où k = constante de ressort en N/m

Δx = allongement du ressort en m

m = masse en kg

a = accélération en m/s^2

L'équation $ma = K \Delta x$ permet la mesure de l'accélération à être réduite à une mesure de l'allongement du ressort (déplacement linéaire) parce que:

$$a = \frac{k}{m} \Delta x$$

Si l'accélération est inversée, l'argument physique en serait de même, sauf que le ressort est comprimé au lieu d'étendue. L'équation :

$$a = \frac{k}{m} \Delta x$$

- ✓ Décrit toujours le rapport entre le déplacement de ressort et l'accélération.
- ✓ L'équation décrit encore la relation entre le déplacement du ressort et l'accélération.

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

f_N = fréquence naturelle f_N en Hz
 k constante de ressort en N / m
 m masse sismique en kg

$$\Delta x = - \frac{m \omega^2 x_0}{k} \sin \omega t$$

$$\omega = 2 \pi f$$

Un accéléromètre a une masse sismique de 0,05 kg et une source constante de $3,0 \times 10^3$ N / m maximum, le déplacement de masse est de $\pm 0,02$ m.

Calculez (a) l'accélération maximale mesurable dans **g**, et (b) la fréquence naturelle

a.

$$a = \frac{k}{m} \Delta x$$

$$a = \left(\frac{3.0 \times 10^3 \text{ N/m}}{0.05 \text{ kg}} \right) (0.02 \text{ m})$$

$$a = 1200 \text{ m/s}^2$$

parce que

$$1 \text{ g} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$a = (1200 \text{ m/s}^2) \left(\frac{1 \text{ g}}{9.8 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$a = 122 \text{ g}$$

b. La fréquence naturelle est donnée par l'équation

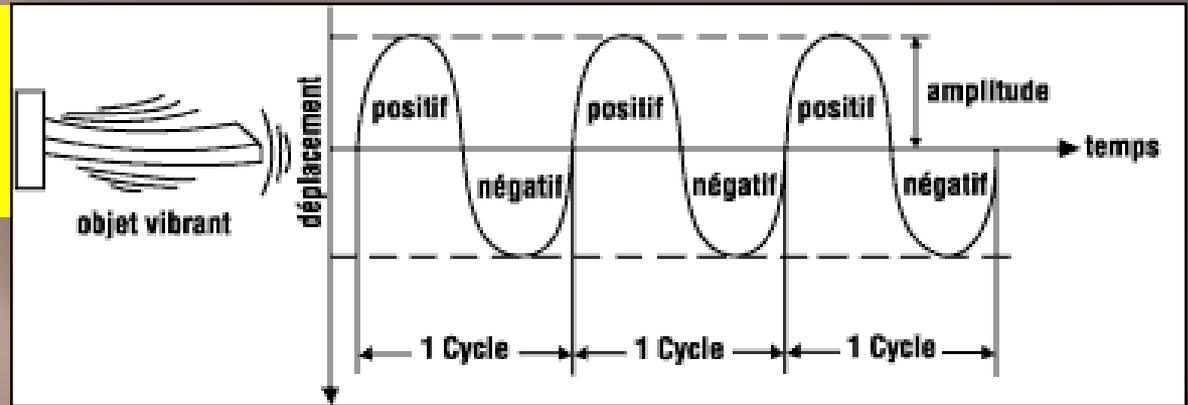
$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3.0 \times 10^3 \text{ N/m}}{0.05 \text{ kg}}}$$

$$f_N = 39 \text{ Hz}$$

1) DEFINITIONS : Caractéristiques de la vibration

Les caractéristiques de la vibration sont la fréquence, l'amplitude et l'accélération.



1) Amplitude : Un objet vibrant se déplace sur une distance maximale de part et d'autre de sa position fixe. L'amplitude est la distance en mètres comprise entre la position fixe et la position extrême, d'un côté ou de l'autre. L'intensité de la vibration dépend de son amplitude

2) Vitesse et accélération: La vitesse en mètres par seconde d'un objet vibrant passe de zéro à une valeur maximale pendant chaque cycle de vibration. Elle est maximale lorsque l'objet passe par la position fixe qu'il occuperait en l'absence de vibration et minimale lorsqu'il s'approche de sa position extrême, où il s'arrête, pour repartir ensuite dans le sens contraire

3) Fréquence de résonance : Chaque objet, selon sa composition, sa taille, sa structure, son poids et sa forme, vibre à une fréquence particulière appelée fréquence de résonance. Une machine vibrante transmet la quantité maximale d'énergie à un objet lorsqu'elle vibre à la fréquence de résonance de l'objet.

Lorsque le système est amorti (cas général du corps humain), la transmission du mouvement est maximale pour une fréquence particulière appelée fréquence de résonance. La fréquence de résonance est inférieure à la fréquence propre, mais les deux fréquences sont le plus souvent assez proches, les organes du corps humain correspondant à des systèmes peu amortis.

Les fréquences de résonance pour un sujet soumis à des vibrations verticales sont les suivantes :

- ✓ Tête : 20 à 30 Hz.
- ✓ Globes oculaires : 60 à 90 Hz.
- ✓ Thorax : 3 à 7 Hz.
- ✓ Cœur: 4 à 8 Hz.
- ✓ Masse thoraco-abdominale : 4 à 9 Hz.
- ✓ Bassin : 4 à 9 Hz

- AFNOR E 90 300.
- ISO 2372.
- ISO 10-816.

Les niveaux vibratoires des machines tournantes ou alternatives sont soumis à des normes qui définissent la sévérité de ces vibrations en fonction de leur amplitude. Pour les machines tournantes en fonctionnement sur leur site d'exploitation, on retrouve les normes suivantes :

NIVEAUX VIBRATOIRES ADMISSIBLES SUR LES MACHINES TOURNANTES

Norme AFNOR E 90-300 / ISO 2372

Niveaux vibratoires admissibles (mm/s rms)		Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
Amplitude efficace de la Vitesse Vibratoire en mm/s RMS dans la bande [10 ; 1000] Hz		Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
	18.0				18.0
					Limite
	11.2			11.2	
				Limite	
	7.1	7.1			
		Moyen			
	4.5		4.5		
		Moyen			
	2.8		2.8		
			Bon		
	1.8	1.8			
		Bon			
	1.12		1.12		
		Bon			
0.71	0.71				
	Bon	Bon	Bon	Bon	

Analyse des Vibrations

Groupe 1 : Éléments de moteurs ou de machines qui, dans ses conditions normales de fonctionnement, sont intimement solidaires de l'ensemble d'une machine. (Les moteurs électriques produits en série, de puissance allant jusqu'à 15 kW, sont des exemples typiques de machines de ce groupe)

Groupe 2 : Machines de taille moyenne, (en particulier moteurs électriques de puissance comprise entre 15 et 75 kW) sans fondations spéciales. Moteurs montés de façon rigide ou machines (puissances jusqu'à 300 kW) sur fondations spéciales.

Groupe 3 : Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations rigides et lourdes, relativement rigides dans le sens de la vibration.

Groupe 4 : Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations relativement souples dans le sens de la vibration (exemple : groupe turbogénérateurs, particulièrement ceux qui sont installés sur des fondations légères)



LES MAINS :

La fonction normale de la main est assurée par un ensemble d'éléments complexes et interactifs qui la composent. Les principaux éléments de la main peuvent être répartis en cinq grandes catégories, soit les os et les articulations, les ligaments et les tendons, les muscles, les nerfs et les vaisseaux sanguins, sans oublier bien entendu la peau qui protège l'ensemble.

La main et le poignet comptent un total de 27 os, dont l'ajustement des uns par rapport aux autres est critique.

Système des points d'exposition

Il est possible de simplifier la gestion des vibrations globales du corps par un système de « points » d'exposition. Pour un véhicule ou une machine donné(e), le nombre de points d'exposition accumulés pendant une heure ($PE_{,1h}$) s'obtient à partir de l'amplitude des vibrations a_w et du facteur k (1,4 pour les axes x et y, 1,0 pour l'axe z) suivant

$$PE_{,1h} = 50(k a_w)^2$$

On ajoute simplement les points d'exposition les uns aux autres, et il est possible de fixer un nombre maximum de points d'exposition par jour et par personne.

Les scores d'exposition correspondant au seuil d'action d'exposition et à la valeur limite d'exposition sont :

- Seuil d'action d'exposition ($0,5 \text{ m/s}^2$) = 100 points ;
- Valeur limite d'exposition ($1,15 \text{ m/s}^2$) = 529 points.



LES TYPES DE GANTS

Différents types de gants sont disponibles pour répondre aux exigences particulières des tâches à effectuer. Selon le type de gant, plusieurs méthodes de fabrication peuvent être utilisées. En plus de la structure du gant, les matériaux qui le composent ont également une influence majeure sur les propriétés finales obtenues.

CLASSIFICATION DES GANTS

Les gants de protection peuvent être classés selon différents critères, par exemple leur usage, leur mode de fabrication, le type de protection offerte, les matériaux qui les composent, leur épaisseur, leur durabilité, etc. Si on considère leur structure, les gants de protection peuvent être répartis en quatre catégories : les gants en polymère non supporté, les gants tricotés, les gants enduits et les gants cousus.

Gants en polymère non supporté

Les gants en polymère non supporté peuvent être fabriqués par trempage, par matriçage / soudage ou par moulage. L'avantage de ce type de gants est en particulier la combinaison d'une protection contre les risques chimiques et biologique avec de bonnes propriétés de flexibilité, de dextérité et de sensibilité tactile. Les matériaux les plus souvent utilisés pour les gants non supportés appartiennent d'ailleurs à la famille des caoutchoucs, qui possèdent une grande élasticité.



Gants tricotés

Les gants tricotés offrent généralement une très bonne respirabilité et certains permettent de conserver une bonne souplesse grâce à la possibilité de glissement des fils les uns sur les autres dans la maille tricotée. Par ailleurs, cette construction sans couture limite les irritations dues au frottement. Cependant, ces gants n'offrent aucune résistance contre les produits chimiques et biologiques ainsi qu'à la perforation et à la piqûre. Par contre, l'utilisation de fibres de haute performance permet à certains gants tricotés de protéger les mains contre la coupure par tranchage.

En général, le nombre de points d'exposition P_E est défini par :

$$P_E = \left(\frac{ka_w}{0,5} \right)^2 \frac{T}{8 \text{ heures}} 100$$

où a_w est l'amplitude des vibrations en m/s^2 , T la durée d'exposition et k est le facteur multiplicatif avec 1,4 pour les axes x- et y ou 1,0 pour l'axe z.

Alternativement la [Figure D.3](#) donne une méthode simple pour calculer le nombre de points d'exposition.

L'exposition journalière $A(8)$ se calcule à partir des points d'exposition par :

$$A(8) = 0,5 \sqrt{\frac{P_E}{100}}$$

Acceleration $\times k$ (m/s ²)	2	50	100	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000	2400
	1.9	45	90	180	360	540	720	905	1100	1450	1800	2150
	1.8	41	81	160	325	485	650	810	970	1300	1600	1950
	1.7	36	72	145	290	435	580	725	865	1150	1450	1750
	1.6	32	64	130	255	385	510	640	770	1000	1300	1550
	1.5	28	56	115	225	340	450	565	675	900	1150	1350
	1.4	25	49	98	195	295	390	490	590	785	980	1200
	1.3	21	42	85	170	255	340	425	505	675	845	1000
	1.2	18	36	72	145	215	290	360	430	575	720	865
	1.1	15	30	61	120	180	240	305	365	485	605	725
	1	13	25	50	100	150	200	250	300	400	500	600
	0.9	10	20	41	81	120	160	205	245	325	405	485
	0.8	8	16	32	64	96	130	160	190	255	320	385
	0.7	6	12	25	49	74	98	125	145	195	245	295
	0.6	5	9	18	36	54	72	90	110	145	180	215
	0.5	3	6	13	25	38	50	63	75	100	125	150
	0.4	2	4	8	16	24	32	40	48	64	80	96
0.3	1	2	5	9	14	18	23	27	36	45	54	
0.2	1	1	2	4	6	8	10	12	16	20	24	
		15m	30m	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	12h
Daily Exposure time												

Figure D.3 Table des points d'exposition (valeurs arrondies)

Étape 1: Déterminer les trois valeurs d'accélération r.m.s. pondérées en fréquence a_{wx} , a_{wy} et a_{wz} à partir des données du fabricant, d'autres sources, ou de mesures.

Étape 2: Trouver les expositions journalières dans les trois directions x, y et z par :

$$A_x(8) = 1,4a_{wx} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A_y(8) = 1,4a_{wy} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A_z(8) = a_{wz} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

où

- T_{exp} est la durée journalière d'exposition aux vibrations, et
- T_0 est la durée de référence de huit heures.

Étape 3: La plus grande valeur de $A_x(8)$, $A_y(8)$ et $A_z(8)$ est l'exposition journalière aux vibrations.

Exemple

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 :

$$A_x(8) = 1,4 \times 0,2 \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 0,25 \text{ m/s}^2$$

$$A_y(8) = 1,4 \times 0,4 \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

$$A_z(8) = 0,25 \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 0,23 \text{ m/s}^2$$

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.

Exposition journalière : A(8), dans le cas de plusieurs tâches

Si une personne est exposée à plusieurs sources de vibrations (par ex. parce qu'elle utilise plusieurs machines différentes ou mène plusieurs activités durant la journée), on calcule une *exposition partielle aux vibrations* à partir de l'amplitude et de la durée pour chaque axe et chaque exposition. On combine ensuite ces valeurs partielles pour obtenir la valeur journalière totale de l'exposition, A(8), pour cette personne et pour chaque axe. L'exposition

journalière aux vibrations est alors la plus grande des valeurs sur les trois axes.

Étape 1: Déterminer les trois valeurs d'accélération pondérées en fréquence a_{wx} , a_{wy} et a_{wz} , pour chaque tâche ou véhicule à partir des données du fabricant, d'autres sources ou de mesures.

Étape 2: Pour chaque tâche ou véhicule, trouver les expositions journalières partielles dans les trois directions x, y et z par:

$$A_{x,i}(8) = 1,4a_{wx} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A_{y,i}(8) = 1,4a_{wy} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A_{z,i}(8) = a_{wz} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

où

❖ T_{exp} est la durée journalière d'exposition aux vibrations,

et

❖ T_0 est la durée de référence de huit heures.

Étape 3: Pour chaque axe (j), l'exposition journalière totale aux vibrations se calcule à partir des valeurs d'exposition partielles, suivant :

$$A_j(\mathbf{8}) = \sqrt{A_{j1}(\mathbf{8})^2 + A_{j2}(\mathbf{8})^2 + A_{j3}(\mathbf{8})^2 + \dots}$$

où $A_{j1}(\mathbf{8})$, $A_{j2}(\mathbf{8})$, $A_{j3}(\mathbf{8})$, etc. sont les valeurs d'exposition partielles pour les différentes sources de vibrations.

Étape 4: La plus grande valeur de $A_x(\mathbf{8})$, $A_y(\mathbf{8})$ et $A_z(\mathbf{8})$ est l'exposition journalière aux vibrations.

Exemple

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.

Étape 1: Les valeurs de vibration sur le siège sont :

Chariot élévateur

axe x : 0,5 m/s²

axe y : 0,3 m/s²

axe z : 0,9 m/s²

Camion de livraison

axe x : 0,2 m/s²

axe y : 0,3 m/s²

axe z : 0,3 m/s²

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

Chariot élévateur	Camion de livraison
$A_{x, \text{chariot}}(8) = 1,4 \times 0,5 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0,25 \text{ m/s}^2$	$A_{x, \text{camion}}(8) = 1,4 \times 0,2 \sqrt{\frac{6}{8}} = 0,24 \text{ m/s}^2$
$A_{y, \text{chariot}}(8) = 1,4 \times 0,3 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0,15 \text{ m/s}^2$	$A_{y, \text{camion}}(8) = 1,4 \times 0,3 \sqrt{\frac{6}{8}} = 0,36 \text{ m/s}^2$
$A_{z, \text{chariot}}(8) = 0,9 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0,32 \text{ m/s}^2$	$A_{z, \text{camion}}(8) = 0,3 \sqrt{\frac{6}{8}} = 0,26 \text{ m/s}^2$

Étape 3: Les expositions journalières totales sur chaque axe valent :

$$A_x(8) = \sqrt{0,25^2 + 0,24^2} = 0,3 \text{ m/s}^2$$

$$A_y(8) = \sqrt{0,15^2 + 0,36^2} = 0,4 \text{ m/s}^2$$

$$A_z(8) = \sqrt{0,32^2 + 0,26^2} = 0,4 \text{ m/s}^2$$

Étape 4: L'exposition journalière totale du chauffeur à des vibrations totales du corps est la plus grande valeur $A(8)$, ici la valeur pour l'axe y ou z, soit $0,4 \text{ m/s}^2$, soit juste en dessous de la valeur d'action.

Exposition quotidienne : A(8), utilisation du système à points de calcul de l'exposition
Si vous avez l'accélération en m/s^2 :

Etape 1 : Déterminer les valeurs de points pour chaque tâche et véhicule en utilisant la Figure D.3 pour calculer l'exposition en points basée sur la valeur d'accélération, les facteurs k, et la durée d'exposition.

Etape 2 : Pour chaque axe ajouter les points par machine pour obtenir pour chaque axe les points totaux pour la journée.

Etape 3 : La plus forte valeur selon les 3 axes est l'exposition quotidienne en points.

Exemple : 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 expositions quotidiennes selon les axes x, y et z sont :

* La valeur exacte de la vibration n'est pas donnée dans la Figure D.3, c'est pourquoi la valeur plus élevée la plus proche est utilisée.

Etape 2 : Les points d'exposition quotidienne pour chaque axe sont :

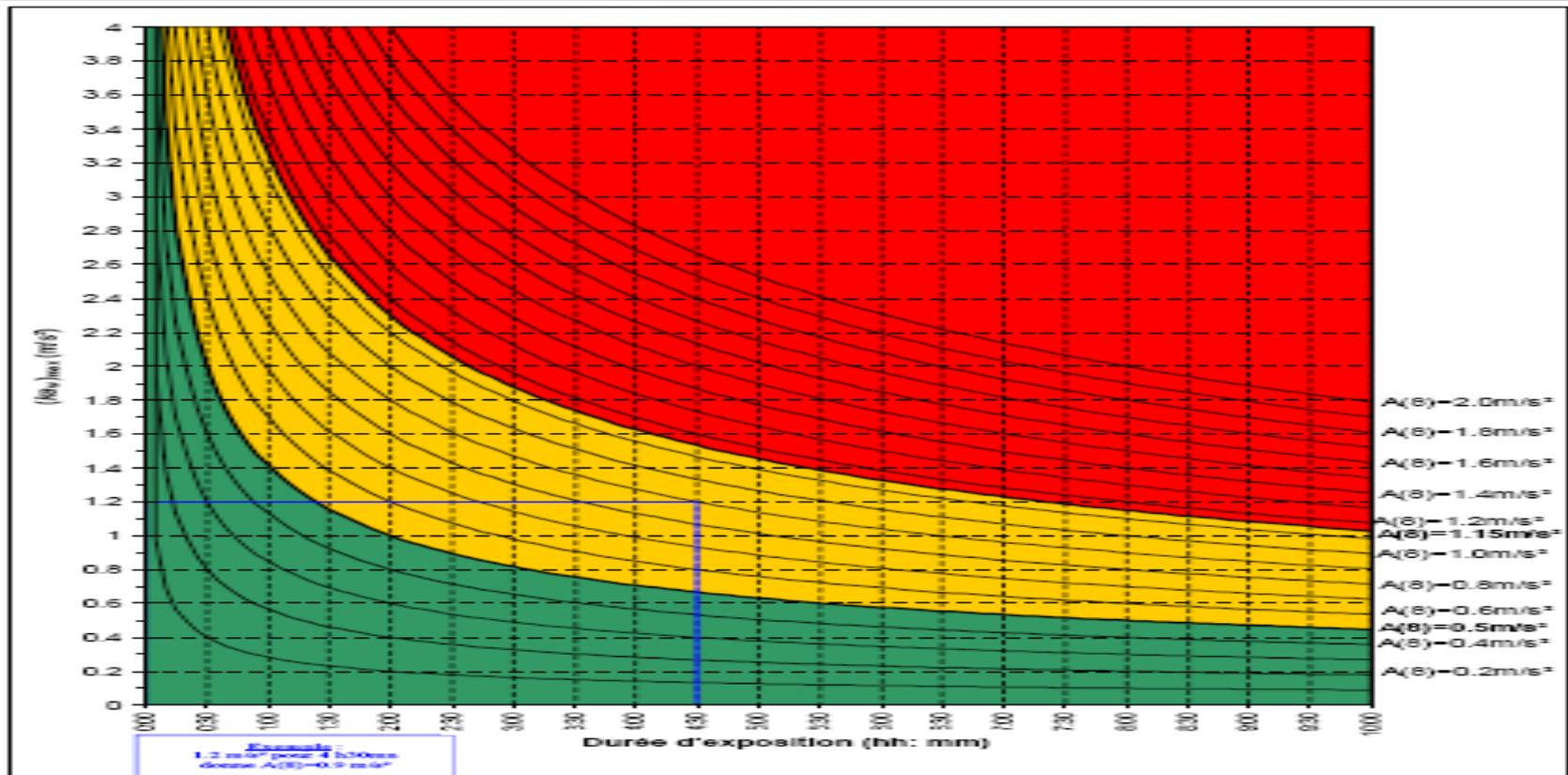
$$\text{x-axe} = 25 + 27 = 52 \text{ points}$$

$$\text{y-axe} = 13 + 75 = 88 \text{ points}$$

$$\text{z-axe} = 41 + 27 = 68 \text{ points}$$

Etape 3 : L'exposition quotidienne du conducteur aux vibrations totales du corps correspond à la plus forte valeur pour les 3 axes, dans ce cas la valeur pour l'axe Y: 83 points, i.e. sous la valeur d'action d'exposition de 100 point.

chariot	Points après 1 heure d'utilisation (de Figure D.3)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ x-axe: $0,5 \times 1,4 = 0,7$ ▪ y-axe: $0,3 \times 1,4 = 0,42$ ▪ z-axe: $0,9$ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 25 ▪ 13 ▪ 41
camion	Points après 6 heures d'utilisation (de Figure D.3)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ x-axe: $0,2 \times 1,4 = 0,28$ ▪ y-axe: $0,3 \times 1,4 = 0,42$ ▪ z-axe: $0,3$ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 27 ▪ 75 ▪ 27



ÉVALUATION des VIBRATIONS

L'évaluation des vibrations implique le mesurage de la valeur efficace de l'accélération pondérée en fréquence (a_w) mesurée sur une durée suffisamment longue (T) et qui s'exprime :

$$a_w = \left(\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right)^{1/2} \text{ en m/s}^2$$

ÉVALUATION des RISQUES pour la SANTÉ

Si le facteur de crête du signal vibratoire est inférieur à 9, on estime l'effet des vibrations sur la santé à partir de la valeur efficace de l'accélération pondérée la plus forte enregistrée pour chacun des 3 axes. $a_{eq} = \max (1,4 a_{wx} ; 1,4 a_{wy} ; a_{wz})$

Quand il n'y a pas de direction vibratoire dominante, il est recommandé de calculer la valeur totale de l'accélération par la formule suivante :

$$a_v = \left[(1,4 a_{wx})^2 + (1,4 a_{wy})^2 + a_{wz}^2 \right]^{1/2}$$

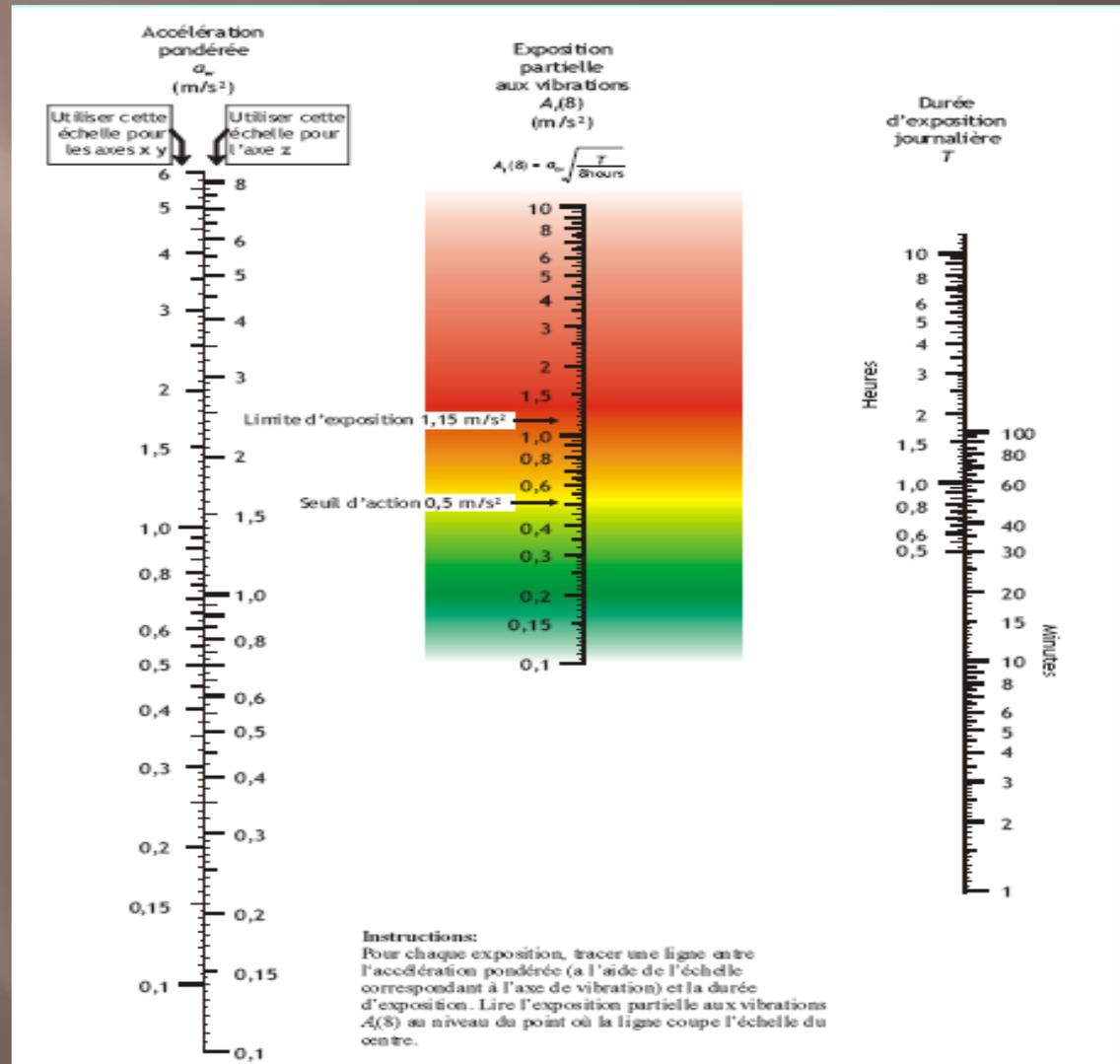
a_{wx} , a_{wy} et a_{wz} sont respectivement les valeurs efficaces de l'accélération pondérée dans les trois directions.

EXEMPLE : En supposant que les valeurs a_{wx} , a_{wy} et a_{wz} relevées soient respectivement égales à 0,5 ; 0,4 et 0,9 m/s², a_v est égal à 1,27 m/s².

Abaque d'exposition journalière

L'abaque de la Figure D.2 fournit une méthode simple pour obtenir les expositions journalières aux vibrations sans utiliser les équations :

1. Sur la ligne de gauche, localisez le point correspondant à l'amplitude des vibrations (utilisez l'échelle de gauche pour les valeurs sur les axes x et y, l'échelle de droite pour l'axe z).
 2. Tracez une ligne partant de ce point sur la ligne de gauche (représentant l'amplitude des vibrations) et rejoignant un point sur la ligne de droite (représentant la durée d'exposition).
- Lisez les expositions partielles au niveau de l'intersection entre les lignes et l'échelle du milieu.



Acceleration x k (m/s²)

2	50	100	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000	2400
1.9	45	90	180	360	540	720	905	1100	1450	1800	2150
1.8	41	81	160	325	485	650	810	970	1300	1600	1950
1.7	36	72	145	290	435	580	725	865	1150	1450	1750
1.6	32	64	130	255	385	510	640	770	1000	1300	1550
1.5	28	56	115	225	340	450	565	675	900	1150	1350
1.4	25	49	98	195	295	390	490	590	785	980	1200
1.3	21	42	85	170	255	340	425	505	675	845	1000
1.2	18	36	72	145	215	290	360	430	575	720	865
1.1	15	30	61	120	180	240	305	365	485	605	725
1	13	25	50	100	150	200	250	300	400	500	600
0.9	10	20	41	81	120	160	205	245	325	405	485
0.8	8	16	32	64	96	130	160	190	255	320	385
0.7	6	12	25	49	74	98	125	145	195	245	295
0.6	5	9	18	36	54	72	90	110	145	180	215
0.5	3	6	13	25	38	50	63	75	100	125	150
0.4	2	4	8	16	24	32	40	48	64	80	96
0.3	1	2	5	9	14	18	23	27	36	45	54
0.2	1	1	2	4	6	8	10	12	16	20	24
	15m	30m	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	12h
Daily Exposure time											

Table des points d'exposition (valeurs arrondies)

L'évaluation des risques doit permettre d'identifier les méthodes de maîtrise de l'exposition. Pendant l'évaluation des expositions aux vibrations, vous devez réfléchir aux processus qui sont à leur origine. Comprendre pourquoi les employés sont exposés à des vibrations importantes et à des risques ergonomiques vous aidera à définir les bonnes méthodes pour réduire ou éliminer les risques.

Les principales étapes de ce processus de management sont :

- Identifier les principales sources de vibrations ;
- Identifier les principales sources de chocs,
- Les classer dans l'ordre de leur contribution au risque ;
- Identifier et évaluer les solutions potentielles en termes de praticabilité et de coût;
- définir des objectifs qui pourront être atteints de façon réaliste ;
- Allouer des priorités et élaborer un « plan d'action » ;
- Définir les responsabilités du management et allouer des ressources adéquates ;
- Appliquer le plan d'action ;
- Suivre son avancement ;
- Evaluer ses résultats.

Il est important de fournir aux opérateurs et surveillants des informations sur :

- les risques de pathologie dus aux équipements utilisés ;
- les valeurs limites d'exposition et les seuils d'action d'exposition ;
- les résultats de l'évaluation des risques vibratoires et des mesures de vibrations ;
- les mesures de maîtrise employées pour éliminer ou réduire les risques résultant de vibrations globales du corps ;
- les méthodes de travail sûres pour minimiser l'exposition aux vibrations
- pourquoi et comment détecter et signaler des symptômes de pathologie
- les circonstances dans lesquelles les employés ont droit à un suivi médical.



Accéléromètre

Un accéléromètre est un capteur qui, fixé à un mobile ou tout autre objet, sert à mesurer l'accélération de ce dernier

Bien que l'accélération soit définie en m/s^2 (SI), la majorité des documentations sur ces capteurs expriment l'accélération en «g» (accélération causée par la gravitation terrestre, soit $g = 9,80 \text{ m/s}^2$).

Un accéléromètre peut être schématisé par un système masse-ressort. Considérons ce schéma ci-contre : A l'équilibre, la position x de la masse m sera la référence, par conséquent $x=0$. Si le support subit une accélération verticale, vers le haut, deux choses vont avoir lieu : Ce support va se déplacer vers le haut d'une part et , à cause de l'inertie de la masse m , celle-ci va avoir tendance à rester à sa position de départ, forçant le ressort à se comprimer d'autre part. La valeur x sera d'autant plus grande que l'accélération appliquée au support sera importante.

