

TABLE DES MATIERES

<i>I. QUESTIONS DE RECHERCHE</i>	1
1. Observe-t-on des altérations sensibles et fonctionnelles chez le sujet sain lors d'une exposition aux vibrations? Si oui, de quoi sont-elles fonction?	1
2. Observe-t-on des altérations permanentes sensibles et fonctionnelles chez les travailleurs ayant utilisé des machines vibrantes durant des années?	1
3. Il y a-t-il une majoration temporaire à court terme de ces altérations chez ces travailleurs?	1
<i>II. METHODOLOGIE GENERALE</i>	2
A. SELECTION DES SUJETS	2
B. GENERATION DES VIBRATIONS DURANT LES TESTS	2
1. Matériel	2
2. Procédure de génération des vibrations	3
3. La position du sujet	3
C. PROTOCOLE GENERAL DES EXPERIENCES	4
<i>III. ANALYSE DES ALTERATIONS SENSIBLES ET FONCTIONNELLES A COURT TERME SUIVE A UNE EXPOSITION AUX VIBRATIONS MANUBRACHIALES</i>	6
A. OBJECTIF	6
B. METHODOLOGIE PARTICULIERE	6
C. RESULTATS	7
1. Le seuil de perception aux vibrations (SPV)	7
2. Le seuil de perception à la pression (SPP)	10
3. La mesure du temps de latence sensitif (TLS)	11
4. Le seuil de perception de la température au chaud	12
5. Le seuil de perception de la température au froid	13
6. La zone neutre	14
7. Le test du Purdue Pegboard (PPg)	15
8. La force maximale volontaire (FMV)	16
D. CONCLUSIONS	17
<i>IV. MISE AU POINT DU MODELE MATHEMATIQUE D'EVOLUTION DU SEUIL DE PERCEPTION AUX VIBRATIONS EN FONCTION DU TEMPS LORS D'UNE EXPOSITION DE COURTE DUREE AUX VIBRATIONS</i>	19
A.OBJECTIF	19

B. METHODOLOGIE DE DEVELOPPEMENT DU MODELE MATHEMATIQUE DU PREMIER ORDRE	19
C. RESULTATS	21
1. Une ou deux constantes de temps	21
2. Existence d'un résidu	21
3. Constante et résidu invariables par sujet	21
4. Variation du TTS en fonction des conditions d'exposition	22
D. CONCLUSION	22
V. COMPARAISON DES ALTERATIONS NEUROLOGIQUES TEMPORAIRES SUITE A L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS DANS LES AXES X, Y ET Z SEPAREMENT	24
A. OBJECTIF	24
B. METHODOLOGIE PARTICULIERE	24
C. RESULTATS	25
1. Le seuil de perception aux vibrations (SPV)	25
2. Le seuil de perception à la pression (SPP)	25
3. La force maximale volontaire (FMV)	26
4. Le test du Purdue Pegboard (PPg)	26
D. CONCLUSION	26
VI. COMPARAISON DES EFFETS ENGENDRES PAR L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS MONOAXIALE AVEC LES EFFETS PROVOQUES PAR L'EXPOSITION TRIAXIALE (VERIFICATION DE L'ADDITIVITE DES EFFETS	27
A. OBJECTIF	27
B. METHODOLOGIE PARTICULIERE	27
C. RESULTATS	27
D. CONCLUSION	28
VII. VARIATIONS INTERINDIVIDUELLES CHEZ LES NON EXPOSES AUX VIBRATIONS MANUBRACHIALES	29
A. OBJECTIF	29
B. METHODOLOGIE PARTICULIERE	29
C. RESULTATS	29
D. CONCLUSION	29
VIII. EFFETS A COURT TERME CHEZ LES TRAVAILLEURS UTILISATEURS DE MACHINES VIBRANTES	30
A. OBJECTIF	30
B. METHODOLOGIE PARTICULIERE	30
C. RESULTATS	31
1. Description de l'échantillon	31
2. Le test du SPV chez les travailleurs exposés	33
3. Les autres tests sensitifs et fonctionnels	33
4. Différences entre les travailleurs exposés atteints et non atteints	34
5. Relation avec les caractéristiques individuelles	35
6. Conclusion	35

*
* *

ETUDE ANNEXE GLOBALE

I. QUESTIONS DE RECHERCHE

L'objet principal de la recherche est de quantifier les altérations sensibles et fonctionnelles à court terme suite à une exposition aux vibrations manubrachiales.

Pour ce faire, un certain nombre de personnes utilisant ou non professionnellement des machines vibrantes seront exposées à des vibrations manubrachiales de fréquences et d'amplitudes semblables à celles rencontrées dans l'industrie.

Les étapes de la recherche sont les suivantes:

1. Observe-t-on des altérations sensibles et fonctionnelles chez le sujet sain lors d'une exposition aux vibrations? Si oui, de quoi sont-elles fonction?

Les questions sont:

- 1.1 Quelles sont ces altérations ? Quels sont les tests fonctionnels ou sensoriels les plus appropriés pour les mettre en évidence ?
- 1.2 Comment évoluent ces altérations temporaires au cours et après l'exposition aux vibrations en fonction de l'amplitude d'accélération et de la fréquence des vibrations ?
- 1.3 Ces altérations temporaires sensibles et fonctionnelles sont-elles indépendantes de l'axe X, Y ou Z dans lequel la main est exposée aux vibrations ?
- 1.4 L'exposition à une vibration triaxiale de composantes d'accélération A_x , A_y et A_z donne-t-elle lieu aux mêmes altérations temporaires qu'une vibration monoaxiale d'accélération égale à $A_R = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$? (Etude 4)
- 1.5 Quelles sont les différences interindividuelles concernant les altérations temporaires sensibles et fonctionnelles pour un groupe de travailleurs sains?

2. Observe-t-on des altérations permanentes sensibles et fonctionnelles chez les travailleurs ayant utilisé des machines vibrantes durant des années?

Une étude épidémiologique sera conduite pour

- 2.1 Quantifier ces altérations permanentes;
- 2.2 Etudier la relation entre ces altérations permanentes et l'intensité et la durée de l'exposition antérieure;
- 2.3 Etudier les différences interindividuelles.

3. Il y a-t-il une majoration temporaire à court terme de ces altérations chez ces travailleurs?

On cherchera cette fois à:

- 3.1 Déterminer si les lois d'évolution de cette altération temporelle sensible et fonctionnelle sont les mêmes que chez les sujets sains étudiés initialement.

II. METHODOLOGIE GENERALE

A. SELECTION DES SUJETS

Les sujets ont été pleinement informés des objectifs de la recherche, de la nature et de la durée des tests. Ils ont librement manifesté leur accord à la participation tout en gardant le droit de quitter l'étude à tout moment pour quelque raison que ce soit.

Les études 1, 2, 3, 4 et 5 ont porté sur des hommes en bonne santé n'ayant jamais été exposés aux vibrations manubrachiales de façon importante. Les sujets ont été sélectionnés sur base d'un questionnaire (anamnèse) et d'un examen clinique des membres supérieurs:

1. Le questionnaire a été rempli lors d'une interview avec un médecin et/ou un kinésithérapeute. Les questions se rapportaient:

- à l'histoire clinique: antécédents familiaux et personnels, avec recherche des pathologies pouvant produire une neuropathie périphérique (diabète, hypertension, ...);
- aux antécédents musculosquelettiques au niveau des membres supérieurs (épicondylites, ténosynovites, arthroses, géodes, syndrome du canal carpien, etc...);
- aux cofacteurs de risque: prise de médicaments, travail avec des machines vibrantes, exposition au froid, exposition à des contraintes physiques avec postures fixes des mains et poignets et répétitivité des mouvements, exposition à des toxiques (solvants, pesticides, métaux lourds, etc...);
- aux caractéristiques psychosociales: consommation d'alcool, de tabac, activités extraprofessionnelles à risque (sport de raquette, jeu d'instruments musicaux, jardinage, etc.), facteurs psychiques (irritabilité, stress, fatigue, etc...).

2. L'examen clinique approfondi comprenait 3 parties:

- les caractéristiques générales: le poids, la taille;
- l'examen clinique proprement dit: sur base du protocole développé par l'Unité Hygiène et Physiologie du Travail de l'UCL, ciblant les pathologies touchant le membre supérieur et en particulier les poignets et les mains (Cock et Masset, 1994);
- l'examen de la sensibilité primaire: la nociception, le toucher, la pallesthésie et la sensibilité thermique.

Une seule réponse positive lors de l'anamnèse ou de l'examen clinique signifiait l'exclusion du sujet.

B. GENERATION DES VIBRATIONS DURANT LES TESTS

1. Matériel

Le matériel utilisé pour générer les vibrations a été:

- un générateur Tektronix TM 503;
- un amplificateur Harfield 2U600 MOS-FET, bande passante de 10 Hz à 25 kHz et rapport signal/bruit > 100 dB;
- un vibreur Brüel & Kjaer Vibration Exciter 4808, bande passante entre 5 Hz et 10 kHz et amplitude d'accélération maximale de 700 ms⁻²;
- un accéléromètre Brüel & Kjaer 4366, bande passante de 0,2 à 5400 Hz et amplitude d'accélération maximale de 1000 ms⁻²;
- un sonomètre intégrateur Brüel & Kjaer 2209, bande passante de 5 Hz à 70 kHz et gamme dynamique de 100 dB;
- deux poignées chauffantes JDT équipées d'un thermostat, permettant l'exposition, l'une dans l'axe Y et l'autre dans les axes X et Z (réglage de la température entre 20 et 40°C);
- une jauge de contrainte JDT SGM 96 à affichage digital, avec capteur de force, montée sur les poignées, gamme dynamique égale à 20 kg;
- un enregistreur graphique Scientific Instruments Recorder 320;
- un système de contrepoids pour équilibrer le vibreur;
- un chronomètre au dixième de secondes.

2. Procédure de génération des vibrations

- Le signal à la fréquence désirée (31,5 Hz ou 125 Hz) est généré par l'appareil Tektronix. Celui-ci est relié à l'amplificateur Harfield qui alimente le vibreur sur lequel est montée la poignée désirée.
- La jauge de contrainte pour le contrôle de la force de préhension manuelle est vissée sur la poignée. La force est affichée numériquement en face du sujet et enregistrée graphiquement, afin de permettre son contrôle instantané et de vérifier son évolution à plus long terme.
- L'accéléromètre est fixé au moyen d'un collier de serrage sur la poignée exposant dans les axes X et Z, et par aimantation sur la poignée exposant dans l'axe Y. Cet accéléromètre est relié au sonomètre permettant le contrôle de l'amplitude d'accélération générée.
- L'ensemble vibreur-poignée est suspendu et équilibré par un système de contrepoids. Ceci permet d'éviter que le sujet réalise des efforts de port ou de pression dans les 2 plans horizontaux et le plan vertical pendant l'exposition aux vibrations.
- La jauge de contrainte est étalonnée toutes les fois que la poignée est changée ou démontée.

3. La position du sujet

- L'expérience commence lorsque la température de la main est supérieure à 30°C. Lorsque ce n'est pas le cas, la main est réchauffée en lui faisant tenir la poignée à 32°C pendant le temps nécessaire (quelques minutes).
- Avant le début du test, il est expliqué au sujet que:
 - la durée de l'expérience est d'environ 90 minutes, y compris le temps de récupération;
 - il sera exposé aux vibrations pendant 32 minutes;
 - des interruptions de très courtes durées seront pratiquées après des durées d'exposition de 2', 2', 4', 8' et 16' pour la passation des tests sensoriels et fonctionnels;
 - en raison du caractère très rapide de la récupération, l'exécution de ces tests sera aussi rapide que possible, ce qui demandera de sa part un maximum de concentration;
 - après l'exposition aux vibrations, l'expérience sera prolongée de 20 minutes sans vibrations, période durant laquelle les tests seront réalisés pour évaluer la récupération;
- Tout au cours de l'expérience, le sujet reste en position assise confortable, le bras légèrement en abduction, l'avant-bras en appui sur un repose bras, en prosupination et le coude fléchi à 90°. Il tient la poignée de la main droite avec une force de préhension de 20 N (5% de la FMV) contrôlée par le capteur de force digital et affichée devant lui. La position de préhension est telle que les doigts restent globalement et en permanence en contact avec la poignée pendant toute la durée de l'exposition.

C. PROTOCOLE GENERAL DES EXPERIENCES

Le même protocole général a été adopté pour toutes les expériences avec exposition aux vibrations. La durée est d'à peu près 90 minutes.

L'exposition aux vibrations a été réalisée en 5 phases successives de durées égales à 2', 2', 4', 8' et 16', soit une durée totale d'exposition de 32 minutes. Entre deux phases successives, les interruptions ont été les plus courtes possibles pour éviter une récupération importante, mais d'une durée telle que certains tests puissent être réalisés.

Après la période d'exposition aux vibrations, les phénomènes ont été observés pendant un minimum de 20 minutes de récupération.

Les tests sensoriels et fonctionnels qui ont été effectués sont ceux décrits dans le rapport principal:

- le test du seuil de perception aux vibrations (SPV),
- le test du seuil de température au chaud et au froid (SPC et SPF),
- le test du seuil de perception à la pression (SPP),
- le test du Purdue Pegboard (PPg),
- le test de la force maximale volontaire (FMV) et
- la température cutanée (t_{sk}) a été contrôlée à plusieurs reprises.

Le seul test rajouté dans le cadre de l'étude annexe est le test du seuil de température. Il a été mesuré au moyen d'un thermoesthésiomètre développé à l'Université de Southampton par M.J. Griffin (HVLAB thermal Aesthesiometer). Il est demandé au sujet de signaler (en poussant sur un bouton) tout changement de température (au chaud, ensuite au froid) au niveau de son index droit, placé sur un plateau initialement réglé à 32°C.

L'ensemble des tests a toujours été réalisé sur l'index droit.

Le tableau II.1 donne les temps auxquels ces différents tests et contrôles ont été réalisés:

- Avant l'exposition aux vibrations, la séquence de tous les tests et contrôles (t_{sk}) a été réalisée 3 fois de suite (après l'apprentissage), selon l'ordre présenté dans le tableau.
- Au cours des arrêts durant l'exposition aux vibrations et au cours de la récupération, seuls certains tests ont été réalisés. Le choix a été réalisé sur base:
 - du temps nécessaire à la passation du test, de manière à ne pas prolonger les arrêts et à influencer le moins possible les phénomènes à mesurer ;
 - de l'intérêt du test: sur base d'études antérieures, il apparaissait en effet que le seuil de perception aux vibrations (SPV) était beaucoup plus influencé par l'exposition et méritait donc d'être plus suivi que le seuil de perception à la pression (SPP) par exemple ;
 - de la pénibilité du test et de l'interférence possible de ce test avec la suite de l'étude: dans ce sens, il était notamment exclu de mesurer 12 fois la force maximale volontaire.

TABLEAU II.1 - Protocole expérimental avec les tests sensoriels et fonctionnels et les moments respectifs de leurs réalisations (les chiffres indiquent les numéros séquentiels des tests qui seront utilisés lors des analyses).

	Temps	SPV	SFC	SPP	PPg	FMV
Avant		1	1	1	1	1
		2	2	2	2	2
		3	3	3	3	3
Exposition	fin phase 2'	4		4		
	fin phase 2'	5		5		
	fin phase 4'	6		6	4	4
	fin phase 8'	7	4	7		
	fin phase 16'	8		8		
		9		9		
Récupération	4'	9		7		
	8'	10		8	5	
	16'	11		9		
	20'	12	5	10	6	5

La bonne réalisation du protocole requiert le chronométrage précis des temps auxquels chaque phase d'exposition aux vibrations a débuté et a fini, ainsi que des temps auxquels les résultats des tests ont été enregistrés.

III. ANALYSE DES ALTERATIONS SENSITIVES ET FONCTIONNELLES A COURT TERME SUITE A UNE EXPOSITION AUX VIBRATIONS MANUBRACHIALES

A. OBJECTIF

L'objet de cette étude initiale est de déterminer quels tests parmi ceux cités ci-dessus mettent en évidence les altérations sensitives et fonctionnelles chez les sujets sains, suite à une exposition de courte durée aux vibrations.

B. METHODOLOGIE PARTICULIERE

- Les expériences ont été réalisées sur 13 étudiants masculins, tous droitiers: âge compris entre 22 et 37 ans, poids entre 60 et 80 kg, taille entre 170 et 182 cm et sans exposition antérieure systématique aux vibrations manubrariales.
- Chaque sujet a réalisé 10 expériences: 9 avec vibrations aux fréquences d'excitation de 31,5, 125 ou 500 Hz et d'amplitudes d'accélération de 5, 20 ou 80 ms⁻² dans l'axe Y (notées 1 à 9 selon le tableau III.1) et une expérience de contrôle sans vibration (notée 0).

TABLEAU III. 1 - Conditions expérimentales d'exposition aux vibrations (codes de 1 à 9).

Fréquences (Hz)	Accélérations (ms ⁻²)		
	5	20	80
31,5	1	2	3
125	4	5	6
500	7	8	9

- Les 9 premiers sujets ont subi les tests suivants: le seuil de perception aux vibrations (SPV) aux fréquences de 31,5 Hz et 125 Hz, le seuil de perception à la pression (SPP), le temps de latence sensitif (TLS), la force maximale volontaire de préhension (FMV) et la dextérité manuelle (PPg)
- Pour les 4 derniers sujets, le test du TLS a été remplacé par le test du seuil de perception à la température (SPT), qui comprend la mesure des seuils de perception au chaud (SPC) et au froid (SPF) et le calcul de la zone neutre (ZN).
- Les dix expériences ont été randomisées de façon à ce que chaque sujet accomplisse 5 expériences le matin et 5 l'après-midi. Une période d'au moins 24 heures a séparé deux expériences consécutives d'un même sujet.
- L'analyse statistique des résultats a été accomplie par analyse de variances multiple (ANOVA) en fonction des effets sujet, expérience (0 à 9) et moment de mesurage. Seules, cependant, les valeurs avant l'exposition (Moment 1), juste après l'exposition (Moment 2) et en fin de récupération (Moment 3) seront utilisées dans le présent chapitre. Les interactions du premier ordre entre les effets sujet, expérience et moment ont également été étudiées.

C. RESULTATS

Le tableau III.2 présente les résultats généraux des analyses ANOVA. Les résultats particuliers à chaque test seront étudiés successivement.

TABLEAU III. 2 - Résultats de la comparaison des moments des tests.

TEST	Sujet	Expér.	Moment	Interaction		
				sujet expér.	sujet moment	expér. moment
SPV (31,5 Hz)	***	***	***	*	**	***
SPV (125 Hz)	***	***	***	***	***	***
SPP	***	***	***	***	NS	***
TLS	***	*	NS			NS
Seuil Chaud	***	NS	***	***	***	NS
Seuil Froid	***	***	NS	*	NS	NS
Zone Neutre	***	**	***	***	***	NS
PPg	***	**	***	***	**	NS
FMV	***	***	***	***	**	NS

NS = non significatif; * $p < 5 \%$; ** $p < 1 \%$; *** $p < 1 \%$

1. Le seuil de perception aux vibrations (SPV)

Les figures III.1 et III.2 donnent les SPV moyens aux fréquences de 31,5 et 125 Hz aux trois moments pendant les 10 expériences.

- Les SPV à 31,5 Hz et 125 Hz mesurés au moment 1 ne varient pas significativement entre expériences, ce qui devait être attendu, puisque les conditions sont comparables avant exposition aux vibrations. Les valeurs moyennes valent respectivement 113,7 et 96,4 dB.
- Immédiatement après exposition aux vibrations ils varient de manière très significative entre expériences ($p < 0,001$).
- Au moment 3, après 20 minutes de récupération, à nouveau, les différences entre expériences sont très significatives ($p < 0,001$).

Le tableau III.3 donne les valeurs moyennes pour chaque expérience après exposition aux vibrations et par ordre croissant, les croix indiquant les expériences pour lesquelles les résultats ne sont pas statistiquement différents.

FIGURE III.1 - Moyennes des valeurs de SPV à 31,5 Hz au cours des 10 expériences et aux 3 moments.

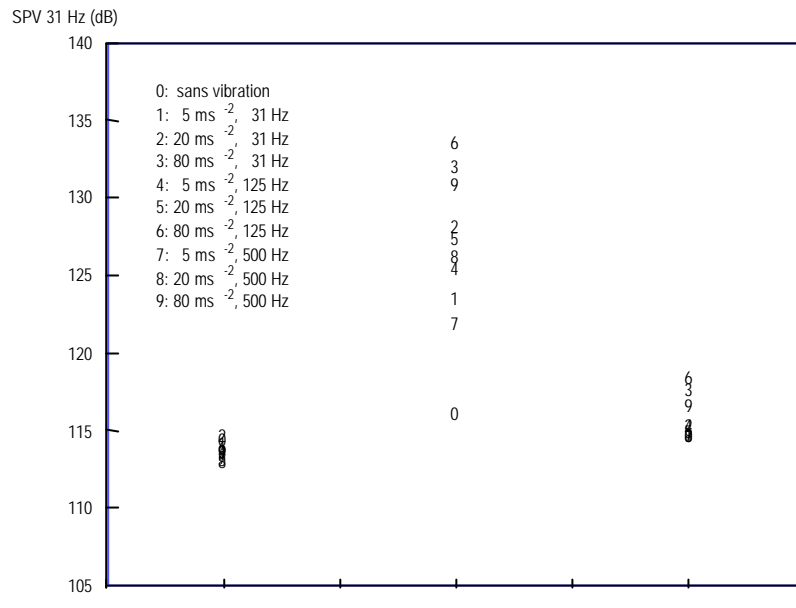


FIGURE III.2 - Moyennes des valeurs de SPV à 125 Hz au cours des 10 expériences et aux 3 moments.

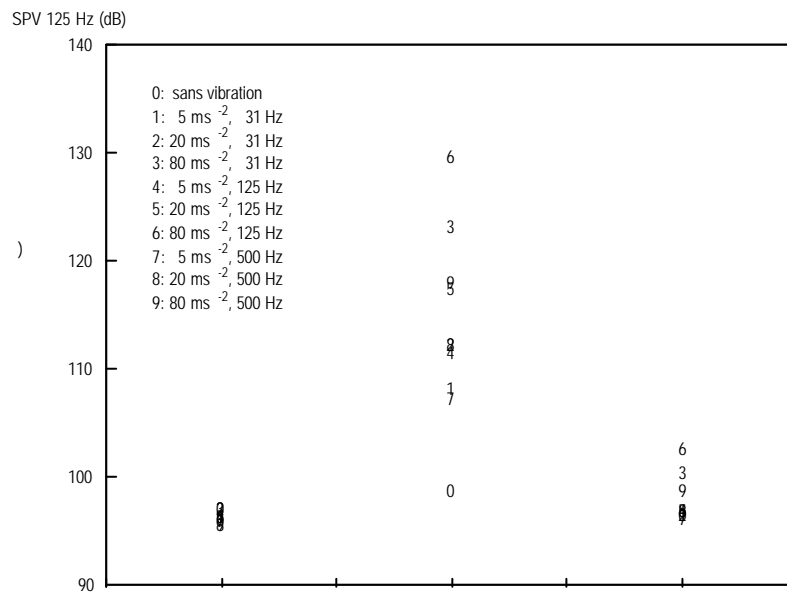


TABLEAU III.3 – Analyses de variances pour différences multiples (test de Tukey) des SPV à 31,5 et 125 Hz relevées directement après l'exposition aux vibrations

SPV 31,5 Hz			SPV 125 Hz		
Code d'expér.	Moyennes	Groupes homogènes	Code d'expér.	Moyennes	Groupes Homogènes
0	116,2	x	0	98,8	x
7	121,9	x	7	107,3	x
1	123,5	x x	1	108,1	x
4	125,4	x x	4	111,5	x
8	126,2	x x	2	112,3	x
5	127,3	x x	8	112,3	x
2	128,1	x	5	117,3	x
9	130,8	x	9	118,1	x
3	131,9	x x	3	123,1	x
6	133,5	x	6	129,6	x

- A l'exception de l'expérience 2 (31,5 Hz, 20 ms²), l'ordre des expériences quant à l'amplitude du SPV est le même aux deux fréquences de tests.
- L'expérience de référence (code 0) ne donne pas lieu à des élévations significatives des SPV. Tenir la poignée en main sans vibrations n'entraîne donc aucune variation du seuil de perception aux vibrations.
- Viennent ensuite successivement les 3 expériences à 5 ms², à 20 ms² et à 80 ms².
- Les expériences entraînant à chaque niveau les SPV les plus élevés sont celles à la fréquence d'exposition de 125 Hz (à l'exception de l'expérience 2 et pour SPV 31,5 Hz).

⇒ On doit donc en conclure qu'il existe bien des effets amplitude et fréquence d'exposition et que l'étude de ce phénomène doit être approfondie.

Le tableau III.4 donne l'ordre et les moyennes des valeurs de SPV après 20 minutes de récupération pour les 9 expériences.

TABLEAU III.4 - Analyses de variances pour différences multiples (test de Tukey) des SPV à 31,5 et 125 Hz relevées après récupération.

SPV 31,5 Hz			SPV 125 Hz		
Code d'expér.	Moyennes	Groupes homogènes	Code d'expér.	Moyennes	Groupes Homogènes
0	114,6	x	0	96,1	x
1	114,6	x	1	96,5	x
7	114,6	x	7	96,5	x
8	114,6	x	8	96,5	x
5	115,0	x	5	96,5	x x
2	115,4	x	2	96,9	x x
4	115,4	x	4	96,9	x x
9	116,5	x x	9	98,8	x x
3	117,7	x	3	100,4	x
6	118,5	x	6	102,7	x

- Les différences sont nettement plus faibles et seules les valeurs en fin d'expériences 3, 6 et 9, c.à.d. au niveau d'accélération le plus élevé (80 ms²) s'écartent de la valeur au repos.

⇒ Il faut donc en conclure qu'après 20 minutes de récupération les seuils de perception aux vibrations restent élevés, ce qui postule soit une constante de temps élevée, soit l'existence d'un résidu. L'ordre des expériences reste grosso modo le même qu'après exposition.

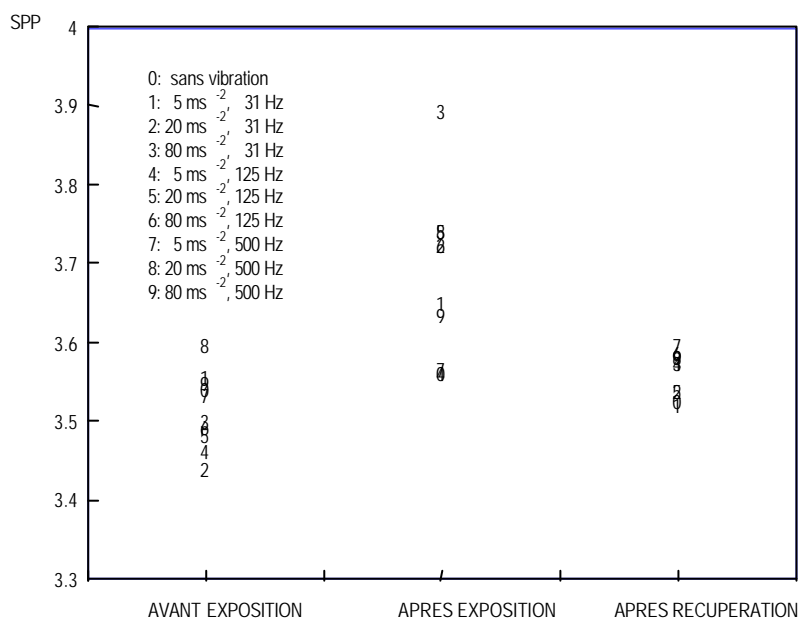
L'interaction expérience-moment rapportée au tableau III.2 s'explique naturellement par le fait que les différences entre expériences se marquent principalement directement après l'exposition aux vibrations. Les interactions sujet-expérience et sujet-moment révèlent des différences interindividuelles importantes.

2. Le seuil de perception à la pression (SPP)

La figure III.3 donne les résultats bruts des moyennes des 13 sujets.

- L'analyse de variances met en évidence des différences très significatives et entre les trois moments ($p < 0,001$).
- L'interaction entre moment et code d'expérience est aussi très significative ($p < 0,001$)

FIGURE III.3 - Valeurs brutes du logarithme de la force appliquée (0,1 mg) pour les monofilaments de Semmes-Weinstein lors des 10 expériences et aux 3 moments.



- Le SPP ne varie pas significativement ($p = 0,41$) entre expériences avant exposition aux vibrations et la valeur moyenne sur l'ensemble des sujets est égale à 3,51.
- Directement après exposition, des différences significatives apparaissent entre expériences ($p = 0,002$).
- Après 20 minutes de récupération, les SPP ne sont pas significativement différents et la moyenne est égale à 3,56, soit la valeur moyenne de départ.

Le tableau III.5 donne les valeurs moyennes après exposition aux vibrations et l'ordre des expériences.

TABLEAU III.5 – Analyse de variances pour différences multiples (test de Tukey) des SPP relevés directement après l'exposition aux vibrations

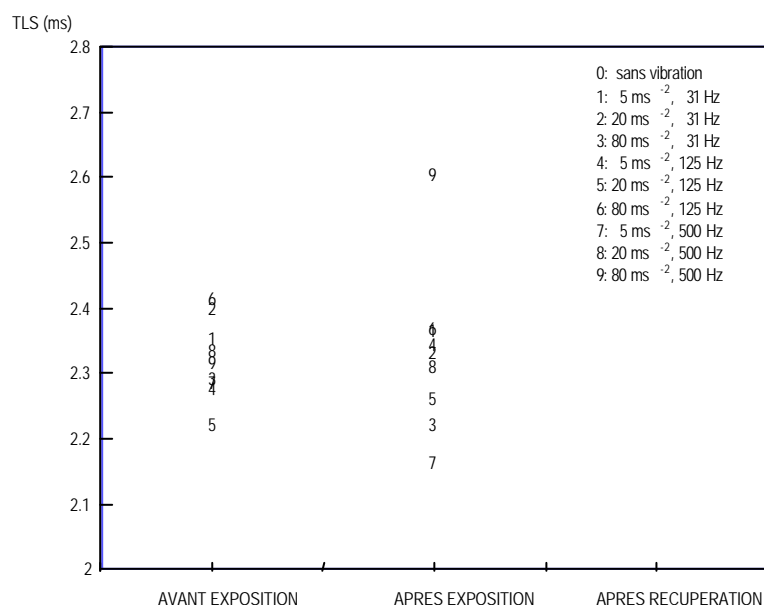
Expérience	Moyennes	Groupes homogènes
0	3,56	x
4	3,56	x
7	3,56	x
9	3,63	x x
1	3,65	x x
6	3,72	x x
2	3,72	x x
5	3,74	x x
8	3,74	x x
3	3,89	x

- L'ordre n'est pas a priori logique, deux des expériences les plus influentes étant les expériences 5 et 8 à 20 ms⁻² plutôt que 6 et 9 à 80 ms⁻².
- L'expérience 3 entraîne cependant l'élévation la plus importante, ce qui peut être mis en relation avec une plus grande susceptibilité des corpuscules de Meissner: l'expérience la plus contraignante à basse fréquence (3 : 80 ms⁻², 31,5 Hz) entraîne l'effet le plus important sur les mécanorécepteurs les plus sensibles à cette fréquence.

3. La mesure du temps de latence sensitif (TLS)

Le temps de latence sensitif n'a été testé qu'avant et immédiatement après exposition aux vibrations. Les valeurs moyennes du TLS aux deux moments sont présentées à la figure III.4 dans les 10 conditions expérimentales.

FIGURE III.4 - Valeurs moyennes du TLS entre sujets lors des 10 expériences et aux 2 moments.



- Aucune différence n'apparaît entre expériences avant exposition ($p = 0,40$) et le temps de latence moyen est égal à 2,32 ms.
- Après exposition, des différences significatives apparaissent ($p = 0,02$) comme le montre le tableau III.6.

TABLEAU III.6 - Analyse de variances pour différences multiples (test de Tukey) des TLS relevés directement après l'exposition aux vibrations

Expérience	Moyennes	Groupes homogènes
7	2,12	x
3	2,17	x x
4	2,24	x x x
6	2,35	x x x x
5	2,36	x x x
1	2,36	x x x
2	2,36	x x x
8	2,45	x x
9	2,53	x

- L'ordre de ces différences apparaît cette fois arbitraire et le temps de latence diminue pour 3 expériences sans rapport entre elles (7, 500 Hz, 5 ms⁻²; 3, 31,5 Hz, 80 ms⁻²; 4, 125 Hz, 5 ms⁻²), tandis qu'il augmente significativement pour d'autres (8, 500 Hz, 20 ms⁻²; 9, 500 Hz, 80 ms⁻²). L'analyse sujet par sujet démontre l'absence de systématisme de ces évolutions qu'il faut donc attribuer aux variations intraindividuelles.

⇒ On peut en conclure que le temps de latence sensitif est peu ou pas influencé par l'exposition de 30 min. aux vibrations dans les conditions utilisées.

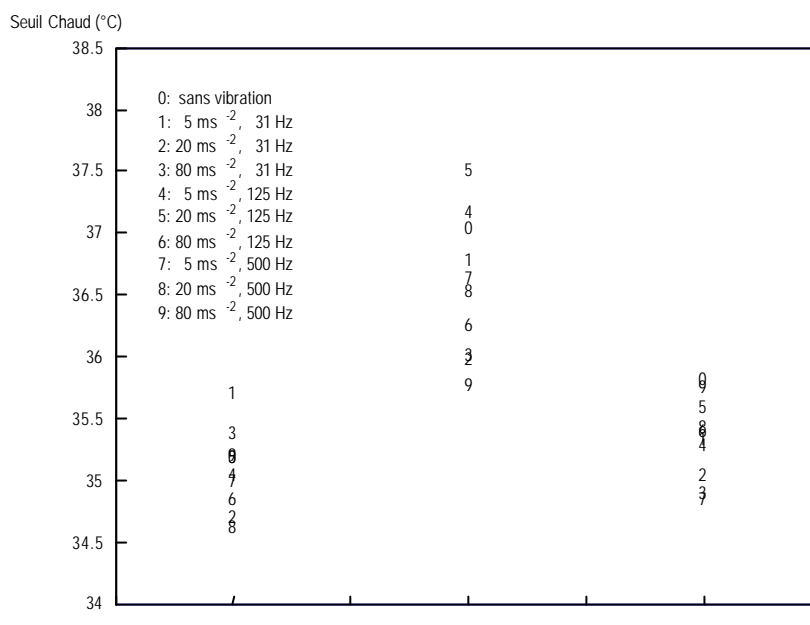
4. Le seuil de perception de la température au chaud

La figure III.5 donne les seuils moyens aux trois moments pour les 10 expériences.

- L'effet expérience n'est pas significatif, alors que l'effet moment l'est à $p < 0,001$. La valeur moyenne du seuil au chaud avant exposition est de 35,0°C, après exposition de 36,6°C et en fin de récupération de 35,3°C.
- A aucun de ces 3 moments, les valeurs moyennes ne varient d'une expérience à l'autre. L'interaction entre les effets expérience et moment n'est pas significative.

⇒ On constate donc une élévation significative du seuil au chaud après l'exposition, élévation qui disparaît après récupération. Cette élévation est observée de la même manière dans l'expérience de référence sans vibrations que dans les autres. Elle pourrait donc être plus liée à la préhension de la poignée qu'aux vibrations.

FIGURE III.5 – Valeurs moyennes des seuils de température au chaud lors des 10 expériences et aux 3 moments



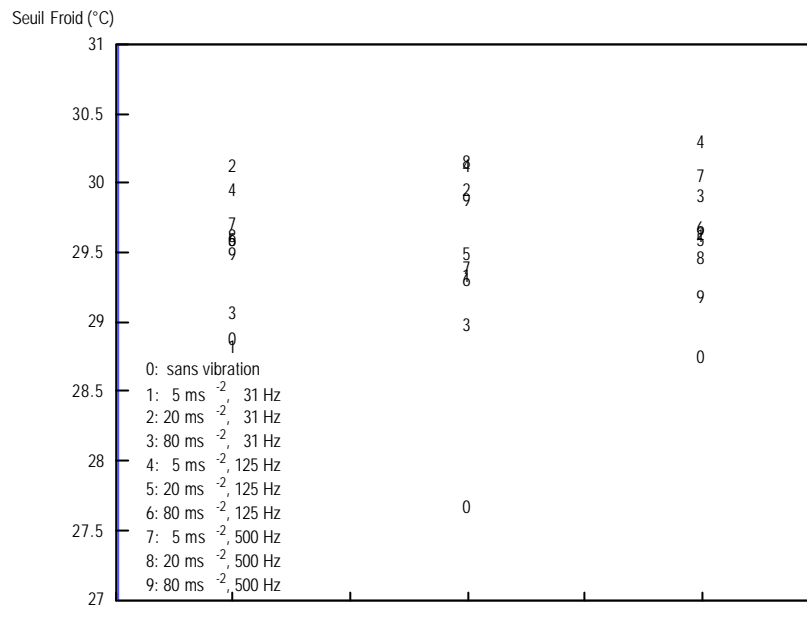
- Les températures cutanées furent mesurées juste avant ces tests. Les valeurs moyennes ne diffèrent pas aux trois moments : 33,2°C, 33,2°C et 33,7°C respectivement et ne peuvent donc expliquer les différences de seuils au chaud.
- L'analyse de variances tenant compte des trois interactions, sujet-expérience, sujet-moment et expérience-moment, montre que les deux premières sont très significatives ($p < 0,001$), alors que la troisième ne l'est d'aucune façon. Les différences observées peuvent dès lors être attribuées à des différences intra sujets incontrôlables.

5. Le seuil de perception de la température au froid

La figure III.6 présente les valeurs moyennes.

- Les valeurs moyennes aux 3 moments ne sont pas significativement différentes, elles valent respectivement 29,4, 29,4 et 29,6°C. Aucun effet de l'exposition aux vibrations n'est donc apparent.
 - Les différences entre expériences sont très hautement significatives ($p < 0,001$), ainsi que l'interaction sujet-expérience ($p < 0,03$). Cela apparaît être dû aux seuils au froid relevés lors de l'expérience de référence (moyenne 27,7°C). Lorsque ces données sont retirées de l'analyse, les différences et cette interaction disparaissent.
- ⇒ A nouveau, les résultats semblent influencés par le comportement singulier de quelques sujets et il doit être conclu que les seuils au froid ne sont pas influencés par les conditions expérimentales.

FIGURE III.6 – Valeurs moyennes des seuils de température au froid lors des 10 expériences et aux 3 moments



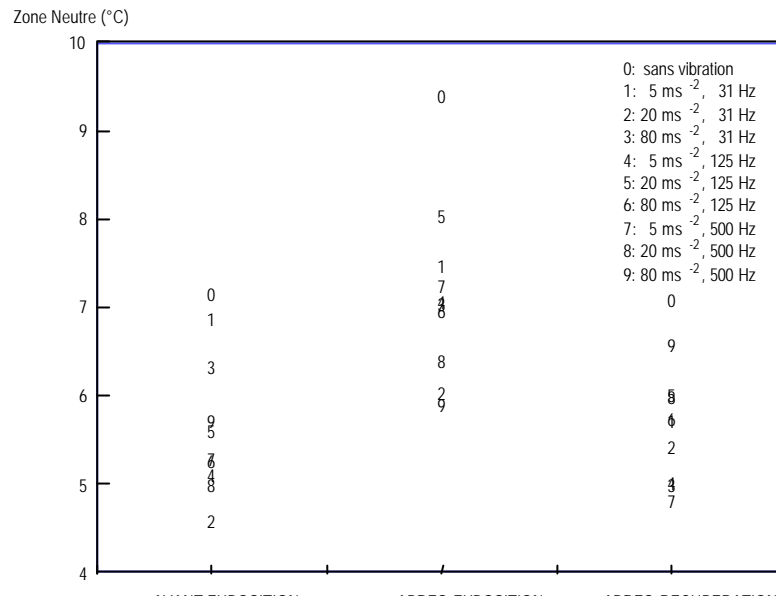
6. La zone neutre

La figure III.7 donne les valeurs, aux trois moments, pour chaque condition expérimentale, de la zone neutre, c.à.d. la différence entre le seuil au chaud et le seuil au froid.

- Les différences entre conditions expérimentales ne sont pas significatives aux trois moments séparément, alors qu'elles le sont globalement pour les 3 moments ($p < 0,001$).
- On relève des valeurs moyennes statistiquement différentes aux trois moments : 5,7, 7,1 et 5,7°C respectivement, suggérant un effet du maintien de la poignée et non de l'exposition aux vibrations.
- Les interactions sujet-expérience et sujet-moment étant très significatives, il faut à nouveau interpréter ces différences comme résultant de particularités individuelles.

⇒ La zone neutre ne paraît donc pas influencée par les vibrations dans nos conditions expérimentales.

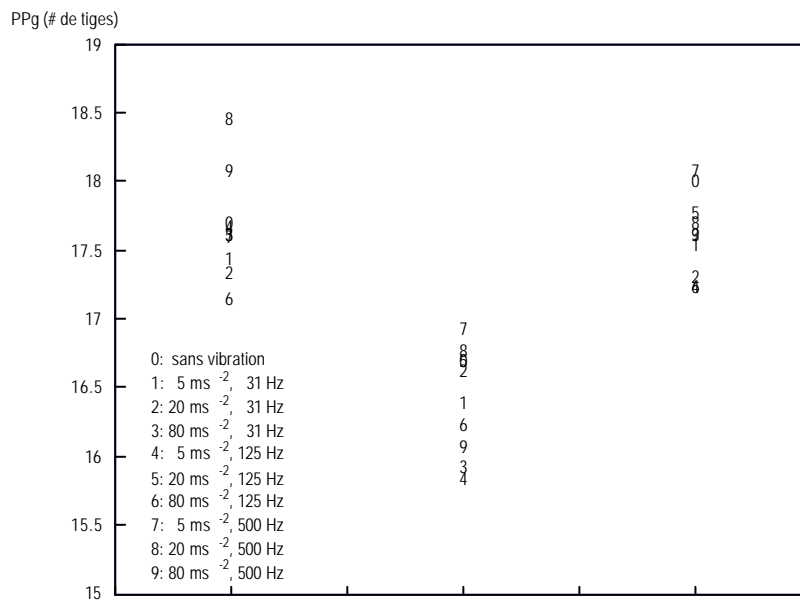
FIGURE III.7 – Valeurs de la zone neutre lors des 10 expériences et aux 3 moments



7. Le test du Purdue Pegboard (PPg)

Les valeurs moyennes obtenues lors du test du Purdue Pegboard sont présentées dans la Figure III.8.

FIGURE III.8 - Valeurs moyennes du nombre de pièces assemblées lors du test PPg au cours des 10 expériences et aux 3 moments.



- Avant l'exposition aux vibrations, les résultats du test du Purdue Pegboard ne varient pas significativement entre expériences et le résultat moyen est égal à 17,7 tiges.
- Il en est de même immédiatement après l'exposition, alors que la moyenne des tiges diminue légèrement et est égale à 16,4. Dans ce cas, les conditions expérimentales (80 ms⁻² à 31,5 Hz et 5 ms⁻² à 125 Hz) donnent les scores moyens les plus faibles (15,8 et 15,9 tiges), ce qui est difficilement explicable.
- A la fin de la récupération, les scores aux différentes expériences ne sont, à nouveau, pas significativement différents (moyenne de 17,6 tiges).

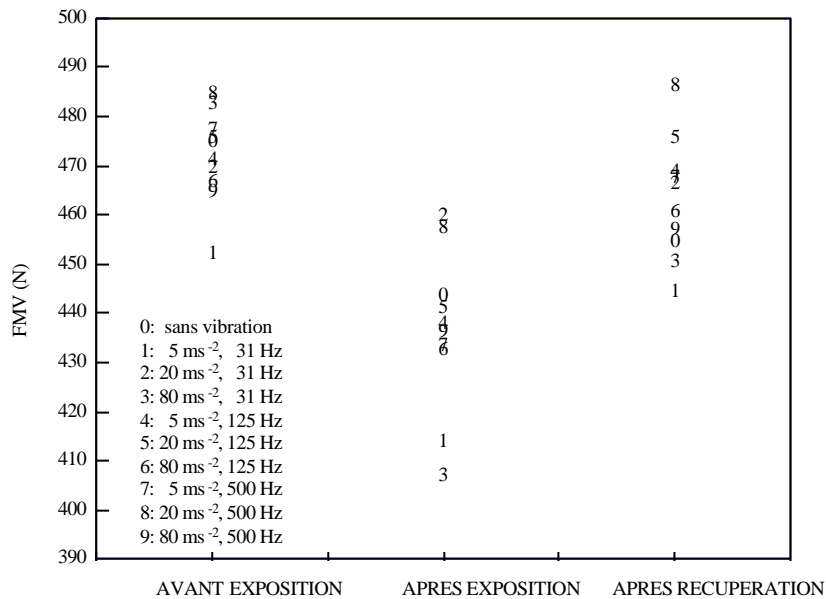
- L'effet moment est bien dû au moment 2, significativement différent des deux autres. L'ordre des expériences en ce moment 2 est quelconque et le résultat de l'expérience 0 de référence est moyen.

⇒ Il faut en conclure que la diminution de la dextérité lors du test au Purdue Pegboard est plus liée à la préhension de la poignée qu'à l'exposition aux vibrations, dans nos conditions expérimentales.

8. La force maximale volontaire (FMV)

Les valeurs de la FMV en moyenne sont illustrées à la figure III.9.

FIGURE III.9 - Valeurs moyennes de la FMV en Newtons au cours des 10 expériences et aux 3 moments.



- La FMV ne varie pas de manière significative entre les conditions expérimentales au moment 1, avant l'exposition aux vibrations, et la valeur moyenne sur l'ensemble des sujets et des expériences est égale à 472 N.
- Il en va de même en fin de récupération où les valeurs ne sont pas significativement différentes et la moyenne est égale à 463 N, soit légèrement mais pas significativement inférieure à la valeur moyenne de départ.
- En fin d'exposition aux vibrations, des différences significatives apparaissent entre les expériences ($p=0,015$).

Le tableau III.7 donne les valeurs moyennes et l'ordre des expériences.

TABLEAU III.7 - Analyse de variances pour différences multiples (test de Tukey) de la FMV relevée directement après l'exposition aux vibrations.

Code d'expérience	Moyennes FMV (N)	Groupes Homogènes
3	406,6	x
1	413,4	x x
6	432,4	x x x
7	433,2	x x x
9	434,8	x x x
4	437,5	x x
5	440,7	x x
0	443,2	x x
8	457,4	x
2	459,7	x

- On observe une diminution significative de la FMV après l'exposition aux vibrations qui disparaît après la période de récupération.
 - Cette diminution est aussi bien observée dans l'expérience de référence sans vibrations que dans les autres.
 - Cet effet ne peut être expliqué que par la fatigue induite par les efforts réalisés pour tenir la poignée durant l'exposition, fatigue qui disparaît presque totalement après les 20 minutes de récupération.
 - L'ordre des différences ne semble pas logique. Les expériences à 20 ms^{-2} (codes 2, 5 et 8) sont moins influencées que les expériences à 5 ms^{-2} (codes 1, 4 et 7). La seule constatation explicable est le fait que l'expérience 3 (80 ms^{-2} à 31,5 Hz) est celle qui entraîne la diminution de force la plus importante. Il s'agit de la condition la plus contraignante, qui demande les efforts les plus importants pour tenir la poignée même avec la faible force de préhension de 20 N.
- ⇒ En conclusion, dans nos conditions expérimentales, la FMV semble être plus influencée par la fatigue que par l'exposition aux vibrations.

D. CONCLUSIONS

Les conclusions tirées de cette étude sont que:

- hormis le test du temps de latence sensitif, tous les tests présentent des résultats pouvant mettre en évidence les altérations sensitives et fonctionnelles après l'exposition aux 9 conditions d'expériences réalisées;
- les altérations dues aux vibrations sont remarquées pour le test du SPV;
- pour les autres tests (SPP, SPT, FMV, PPG), les altérations sont dues à la préhension de la poignée;
- pour mieux expliquer les altérations du SPV en termes quantitatifs, il faudra procéder à une modélisation de ce test en fonction des paramètres d'exposition (chapitre IV);
- les faibles variations des résultats du test du TLS constatées au cours des expériences renforcent la constatation qu'il sert à tester uniquement l'intégrité des fibres nerveuses. Donc, pour des expositions de courte durée comme les nôtres, la conductibilité de la fibre n'est pas diminuée et le résultat du test reste invariable. La mise en évidence des altérations au niveau des fibres nerveuses ne serait possible qu'à plus long terme, ce qui sort des objectifs de cette étude. En outre, le test s'avère très difficile à accepter par les sujets à cause de son caractère douloureux. Aussi, pour les études ultérieures, la décision a été prise de supprimer du protocole le test du TLS mais de conserver tous les autres, y compris le test du seuil de sensibilité à la température (SPT) qui est plus en rapport direct avec les récepteurs sensoriels au niveau de la peau que le TLS.

IV. MISE AU POINT DU MODELE MATHEMATIQUE D'EVOLUTION DU SEUIL DE PERCEPTION AUX VIBRATIONS EN FONCTION DU TEMPS LORS D'UNE EXPOSITION DE COURTE DUREE AUX VIBRATIONS

A. OBJECTIF

L'objectif de cette étude est de déterminer la validité et les limites d'un modèle mathématique du premier ordre pour décrire l'évolution en fonction du temps du SPV lors d'une exposition aux vibrations.

B. METHODOLOGIE DE DEVELOPPEMENT DU MODELE MATHEMATIQUE DU PREMIER ORDRE

L'évolution selon un système du premier ordre se traduit par l'expression mathématique suivante durant la phase d'exposition :

$$SPV(t) = SPV_0 + TTS [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (1)$$

et pendant la période de récupération par :

$$SPV(t) = SPV_M - TTS [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (2)$$

où:

- t = le temps ; (t=0 au début de l'exposition aux vibrations) ;
- SPV(t) = le seuil de perception à une fréquence de test au temps t ;
- SPV₀ = la valeur initiale du SPV avant l'exposition ;
- SPV_M = la valeur de régime vers laquelle tend le SPV ;
- TTS = la variation maximale du SPV dans ces conditions d'exposition
(TTS = SPV_M - SPV₀) ;
- τ = la constante de temps

Comme l'a montré Malchaire (1991), cette expression peut être traduite par l'expression itérative suivante:

$$SPV_i = SPV_{i-1} \cdot k + A \cdot (1 - k) \quad (3)$$

qui exprime que :

- la valeur du SPV au moment (i) est égale à la fraction $k = \exp(-\Delta t / \tau)$ du SPV au temps (i - 1), Δt secondes avant ;
- plus une fraction (1 - k) de la valeur A vers laquelle on tend en état de régime ;
- la valeur A est égale à :
 - ◊ SPV_M = SPV₀ + TTS pendant la période d'exposition et
 - ◊ SPV₀ durant la période de récupération.

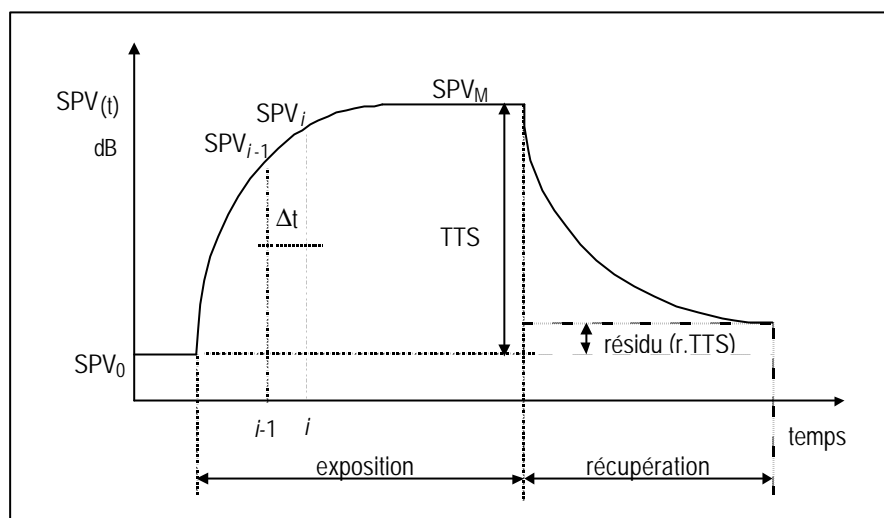
Les avantages de l'utilisation de l'expression (3) sont que :

- la valeur A peut varier, c.à.d. que la réponse peut être étudiée non seulement à une sollicitation constante de vibration (donc vers un seul état de régime SPV_M), mais à toute sollicitation quelle qu'elle soit ;
- elle permet l'adoption de constantes de temps différentes pour l'évolution du TTS durant la phase d'exposition (τ_e) et pendant la phase de récupération (τ_r) ou encore l'adoption d'une même constante de temps (τ) pour le développement et la récupération du TTS ;
- elle permet d'étudier si le SPV après l'exposition revient directement à sa valeur de départ (SPV₀) ou si une valeur résiduelle du TTS subsiste après quelque 20 minutes de récupération. Dans ce cas, et si «r» désigne la fraction résiduelle du TTS, l'équation pour la phase de récupération devient:

$$SPV_i = SPV_{i-1} \cdot k_r + (SPV_0 + r TTS) (1 - k_r) \quad (4)$$

La figure IV.1 illustre cette évolution de SPV_(t) dans le cas d'une seule constante de temps et d'un résidu.

FIGURE IV.1 - L'évolution du TTS selon le modèle du premier ordre.



Les résultats de tous les tests de SPV au cours des 130 expériences décrites au chapitre précédent ont été utilisés pour la mise au point du modèle.

Le mode de calcul itératif de mise au point du modèle du premier ordre part des hypothèses suivantes :

- le seuil de perception initial SPV_0 est égal à 0 (zéro) ;
- le TTS de régime est égal à 1 après exposition aux vibrations.

Les calculs sont menés en adoptant un modèle, soit à une constante de temps unique, soit à deux constantes de temps (τ_e et τ_r) et en faisant varier la (les) constante(s) de temps τ de 1 à 20 minutes, par pas de 0,1 minute. La valeur du résidu "r" varie de 0 à 1 par pas de 0,05.

Pour chaque combinaison obtenue (τ_e , τ_r , r), une régression linéaire et un coefficient de corrélation (R) sont calculés entre les valeurs prédites (notées X) et observées (SPV). La combinaison retenue a été celle qui donne le coefficient de corrélation R le plus élevé ou la moyenne des valeurs pour lesquelles le coefficient de corrélation varie de moins de 0,05.

Pour cette combinaison, la régression donne :

$$SPV = a X + b$$

- où
- SPV = la valeur observée ;
 - X = la valeur prédite par le modèle (entre 0 et 1) ;
 - a = la pente, qui correspond à l'amplitude du TTS ;
 - b = l'interception, qui est égale à la valeur initiale SPV_0 .

Une analyse de régression multiple a été réalisée pour étudier la variation de ces paramètres en fonction des conditions d'exposition.

C. RESULTATS

1. Une ou deux constantes de temps

Les résultats de la modélisation à deux constantes de temps différentes avec et sans résidu ont montré que plusieurs couples différents de valeurs (τ_e , τ_r) donnent lieu à des coefficients de corrélation du même ordre de grandeur. La détermination d'un seul couple (τ_e , τ_r) s'avère donc impossible, probablement du fait de l'imprécision des données (le SPV est déterminé à ± 5 dB) et du nombre limité (12) de mesurages du SPV.

2. Existence d'un résidu

L'analyse de variances concernant le paramètre SPV_0 a été réalisée en fonction des facteurs sujets et conditions expérimentales (codées de 1 à 9). Les résultats sont présentés dans le tableau IV.1.

TABLEAU IV. 1 - Résultats de l'analyse ANOVA du SPV_0 pour les modèles d'évolution du TTS à une constante de temps avec et sans résidu

Effets	Modèle (1 t)		Modèle (1t + résidu)	
	Fréq. test 31,5 Hz	Fréq. test 125 Hz	Fréq. test 31,5 Hz	Fréq. test 125 Hz
Sujets	***	***	***	***
Conditions d'exposition	NS	**	NS	NS

NS = non significatif; ** $p < 1 \%$; *** $p < 1 \%$

L'effet "conditions d'exposition" est très significatif à 125 Hz, mais disparaît lorsqu'on considère une fraction résiduelle du TTS. Par conséquent, un modèle sans fraction résiduelle du TTS en fin de récupération n'est pas acceptable.

3. Constante et résidu invariables par sujet

Les calculs de la constante de temps et du résidu par sujet ont montré que ces paramètres varient considérablement et sans cohérence d'une expérience à l'autre pour un même sujet et que les effets sujets et conditions d'exposition ne sont pas significatifs. Aucune explication logique ne peut être apportée, si ce n'est, à nouveau, la faible résolution des données (± 5 dB) et la limitation du nombre de valeurs de SPV relevées dans chaque expérience.

Dès lors, les calculs ont été menés en supposant la constante de temps et le résidu invariable pour un même sujet.

Pour les fréquences de 31,5 Hz et 125 Hz, les constantes de temps moyennes sont égales à 2,6 ($\pm 0,5$) min et à 3,2 ($\pm 0,4$) min, respectivement, et les fractions résiduelles du TTS sont égales à 0,14 ($\pm 0,06$) et 0,07 ($\pm 0,04$).

L'analyse de variances a confirmé que les valeurs de SPV_0 dérivées de ces calculs sont indépendantes des conditions d'exposition. Elles varient entre sujets avec des moyennes de 113,5 ($\pm 2,3$) dB et 96,6 ($\pm 3,2$) dB respectivement pour les fréquences de 31,5 et 125 Hz.

4. Variation du TTS en fonction des conditions d'exposition

Les valeurs moyennes du TTS en état de régime pour les deux fréquences de test (31,5 et 125 Hz) et dans les 9 conditions d'exposition sont données par le tableau IV.2.

TABLEAU IV. 2 - Valeurs moyennes du TTS en état de régime dans les 9 conditions d'exposition pour les deux fréquences de test.

Exposition aux vibrations			TTS (dB) à la fréquence de test de	
Conditions	Fréq (Hz)	Accél (ms ⁻²)	31,5 Hz	125 Hz
1	31,5	5	10,5 ± 3,0	13,4 ± 4,1
2	31,5	20	16,0 ± 3,2	20,9 ± 5,0
3	31,5	80	21,6 ± 5,3	30,8 ± 5,0
4	125	5	13,3 ± 4,3	17,9 ± 3,8
5	125	20	17,5 ± 3,6	26,5 ± 5,1
6	125	80	22,1 ± 4,1	37,8 ± 5,1
7	500	5	11,7 ± 3,7	14,4 ± 4,6
8	500	20	13,6 ± 3,5	20,5 ± 5,2
9	500	80	19,8 ± 3,0	27,5 ± 6,3

- Pour la fréquence de test de 31,5 Hz:
 L'analyse de covariances, avec le sujet et la fréquence comme facteurs et SPV₀ et le logarithme de l'amplitude comme covariables, montre un effet fréquence très significatif (p < 0,001). Cet effet est, par rapport à la moyenne générale égale à 16 dB, de 0,2, 1,2 et -1,5 dB respectivement à 31,5, 125 et 500 Hz.
 Tenant compte de ces effets, la loi de variation du TTS (appelé TTS_n puisque normalisé) est:

$$TTS_n = 100,6 - 0,84 SPV_0 + 7,98 \log a \quad (R = 0,815)$$
- Pour la fréquence de test de 125 Hz:
 Les effets fréquence sont à nouveau très significatifs (p < 0,001) avec, par rapport à la moyenne générale de 23,1 dB, des valeurs de -2,1, +4,8, -2,8 dB respectivement à 31,5, 125 et 500 Hz.
 Tenant compte de ces effets, la loi est

$$TTS_n = 47,8 - 0,45 SPV_0 + 14,13 \log a \quad (R = 0,847)$$

D. CONCLUSION

L'évolution du TTS peut être décrite par un modèle du premier ordre, pendant et après l'exposition aux vibrations. Cependant, un modèle avec une seule constante de temps a dû être utilisé.

Dans ce modèle, l'augmentation temporaire du seuil de perception aux vibrations (TTS) atteint un état de régime en fin d'exposition et une fraction de ce TTS, ou un résidu, subsiste encore après quelque 20 minutes de récupération. Il n'a pas été possible d'étudier valablement si la constante de temps et le résidu dépendent ou non de la condition expérimentale. Par contre, ils dépendent fortement du sujet et ont dû être considérés comme invariants pour un sujet donné.

Il sera donc postulé dans les études futures que la variation du TTS suit un modèle du premier ordre à une constante de temps et une fraction résiduelle du TTS après 20 minutes de récupération.

V. **COMPARAISON DES ALTERATIONS NEUROLOGIQUES TEMPORAIRES SUITE A L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS DANS LES AXES X, Y ET Z SEPAREMENT**

A. **OBJECTIF**

L'objectif de cette étude est de déterminer si les vibrations manubrariales entraînent des effets différents sur la sensibilité et la dextérité tactile suivant l'axe X, Y ou Z (ISO 5349) d'exposition.

B. **METHODOLOGIE PARTICULIERE**

Les expériences ont été conduites avec 10 étudiants masculins âgés de 23 à 37 ans (poids compris entre 60 et 80 kg et taille entre 170 et 185 cm), tous droitiers, en bonne santé et sélectionnés sur base des critères généraux. Chaque sujet a été exposé aux vibrations, sur base du même protocole que celui décrit au chapitre II, dans chacun des trois axes X, Y et Z et dans 4 conditions: amplitudes de 20 et 80 ms⁻² aux fréquences de 31,5 et 125 Hz. Une expérience de contrôle sans vibration, avec uniquement la préhension de la poignée, a à nouveau été prévue.

Pour éviter un protocole avec un plan factoriel excessivement lourd (4 conditions x 10 sujets x 3 axes = 120 expériences), nous avons recherché un plan expérimental par "blocs incomplets balancés" dans lequel chaque paire de traitements survient le même nombre de fois dans l'expérimentation. Les paramètres qui définissent le plan sont: 10 blocs (sujets), 6 traitements (conditions expérimentales), 3 traitements par bloc (conditions expérimentales par sujet), 5 réplifications (sujets par condition), soit un total de 30 expériences et chaque paire de conditions est répétée pour 2 sujets. Avec ce plan expérimental, il a été possible d'effectuer 30 expériences à 31,5 Hz et 30 expériences à 125 Hz (tableau V.1), soit un total de 60 expériences plus 10 tests de contrôle (un par sujet).

Les tests sensitifs et fonctionnels réalisés ont été:

- le seuil de perception aux vibrations (SPV);
- le seuil de perception à la pression (SPP);
- le test du Purdue Pegboard (PPg);
- le mesurage de la Force Maximale Volontaire (FMV).

C. RESULTATS

Les analyses de variances ont été conduites séparément pour les résultats des expériences aux fréquences d'exposition de 31,5 Hz et 125 Hz. Elles ont porté sur les effets sujet (10), moment (3) (quand applicable), axe (3) et amplitude (2), sans interactions.

Nous n'étudierons ci-dessous que l'effet axe, puisque l'objectif de cette étude est bien de déterminer s'il y a des différences selon l'axe dans lequel la main est exposée aux vibrations.

TABLEAU V 1 – Plan expérimental à la fréquence d'exposition de 31,5 Hz et de 125 Hz

Sujet (à 31,5 Hz)	X 20	X 80	Y 20	Y 80	Z 20	Z 80
1	x	x	x			
2	x	x		x		
3	x		x		x	
4	x			x		x
5	x				x	x
6		x	x			x
7		x		x	x	
8		x			x	x
9			x	x	x	
10			x	x		x
Sujet (à 125 Hz)	Z 20	Z 80	X 20	X 80	Y 20	Y 80

1. Le seuil de perception aux vibrations (SPV)

Ni les TTS, ni le résidu et la constante de temps propre au sujet ne sont significativement différents suivant l'axe dans lequel les vibrations ont été exercées, et ce, quelles que soient les fréquences de test et d'exposition.

A 31,5 Hz on remarque dans l'axe Z une légère augmentation de 5% du TTS par rapport à l'axe Y et de 2% dans l'axe X.

Pour la fréquence de test de 125 Hz la valeur moyenne du TTS dans l'axe Y est 6% plus élevée que les moyennes dans les axes X et Z.

Ces différences sont non significatives et relativement marginales.

2. Le seuil de perception à la pression (SPP)

Des différences apparaissent entre les trois axes lorsque les trois moments sont considérés globalement dans l'analyse de variances. L'analyse séparée aux trois moments révèle que ces différences apparaissent avant l'exposition – ce qui ne peut être qu'un artefact – et après l'exposition – ce qui doit l'être tout autant. Au moment 2, après exposition, aucune différence ne subsiste.

Il faut en conclure qu'en ce qui concerne le SPP et dans nos conditions expérimentales, les effets, pour autant qu'ils existent, sont indépendants de l'axe d'exposition. Ils seraient cependant plus liés à la préhension qu'aux vibrations.

3. La force maximale volontaire (FMV)

Une légère différence pour la fréquence d'exposition de 31,5 Hz apparaît entre axes lorsque les trois moments sont considérés dans l'analyse de variances. Cet effet axe disparaît lorsque les résultats aux trois moments sont analysés séparément.

On peut donc en conclure, avec les mêmes réserves (c.à.d. pour les conditions étudiées), que l'axe dans lequel l'exposition est réalisée ne joue aucun rôle.

4. Le test du Purdue Pegboard (PPg)

Ce test est le seul à présenter des différences significatives en fonction de l'axe après exposition aux vibrations. Cet effet axe n'est cependant significatif que pour la fréquence d'exposition de 125 Hz ($p < 0,05$). A cette fréquence, le test met en évidence une diminution de 1,5 tiges quand l'exposition a lieu dans l'axe X, de 0,5 tiges dans l'axe Z, mais une légère augmentation de 0,2 tiges après exposition dans l'axe Y. Ces résultats sont paradoxaux et minimes, de sorte que l'on peut conclure à l'absence d'effet de l'axe d'exposition.

D. CONCLUSION

On peut conclure qu'il n'y a pas de différences significatives entre les effets provoqués par les vibrations, quel que soit l'axe dans lequel les vibrations sont exercées. Ces effets sont du même ordre de grandeur et on peut accepter le fait qu'ils sont équivalents pour les trois axes, indépendamment du mode d'action des vibrations sur la surface cutanée, par pression dans les axes X et Z ou par cisaillement dans l'axe Y.

Pour des raisons pratiques liées aux appareils, les expériences à venir seront dès lors réalisées uniquement dans l'axe Y.

VI. COMPARAISON DES EFFETS ENGENDRES PAR L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS MONOAXIALE AVEC LES EFFETS PROVOQUES PAR L'EXPOSITION TRIAXIALE (VERIFICATION DE L'ADDITIVITE DES EFFETS)

A. OBJECTIF

Les machines vibrantes rencontrées dans l'industrie donnent lieu à des vibrations dans les trois axes en même temps. De plus, le spectre fréquentiel est large avec ou non certaines vibrations pures.

L'objectif de cette étude est d'évaluer si les altérations du seuil de perception aux vibrations, induites par une vibration triaxiale, sont les mêmes que celles engendrées par une vibration monoaxiale d'amplitude égale.

B. METHODOLOGIE PARTICULIERE

L'étude a été réalisée sur 12 étudiants masculins. L'exposition aux vibrations triaxiale a été réalisée au moyen d'une ponceuse Bosch type 1286, utilisée couramment en milieu industriel. L'analyse spectrale de la machine a montré que les spectres de fréquences étaient comparables dans les trois axes et que les vibrations étaient essentiellement à une seule fréquence, soit 160 Hz. Les résultats ont indiqué des amplitudes non pondérées de: 55 ms⁻² pour l'axe X, 101 ms⁻² pour l'axe Y et 85 ms⁻² pour l'axe Z. Si l'on adopte l'hypothèse de l'additivité des axes, l'amplitude résultante est donnée par la racine carrée de la somme des carrés des composantes de l'accélération A_x, A_y et A_z soit:

$$A_R = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \cong 140 \text{ ms}^{-2}.$$

La température de la poignée et la force de préhension de la machine vibrante n'ont pas pu être contrôlées comme lors des expériences avec le vibreur. Néanmoins, il a été demandé au sujet d'exercer avant l'exposition une force d'à peu près 20 N et d'essayer de la maintenir tout au long de l'expérience avec la ponceuse.

Le TTS dans chaque expérience a été évalué par le modèle du premier ordre décrit au chapitre IV. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus lors des expériences monoaxiales à 125 Hz (chapitre IV) et extrapolés à l'amplitude de 140 ms⁻² par les lois mathématiques qui en ont été dérivées individuellement en fonction du seuil au repos (SPV₀) et du logarithme de l'amplitude.

C. RESULTATS

Peu de différences sont observées entre les TTS à 125 Hz après l'exposition monoaxiale (42,3 ± 4,2 dB) et ceux après l'exposition triaxiale avec la ponceuse (40,9 ± 6,7 dB) malgré que la fréquence d'excitation en triaxiale (160 Hz) soit différente de celle en monoaxiale (125 Hz). On peut en conclure qu'une expérience à une fréquence d'exposition de 160 Hz en monoaxiale ou en triaxiale donne une réponse sensiblement équivalente à celle observée pour une fréquence d'exposition de 125 Hz.

Par contre on remarque des différences importantes à la fréquence de test de 31,5 Hz: 17,2 ± 3,3 dB lors de l'excitation triaxiale, pour 22,9 ± 3,2 dB en monoaxiale. Aucune explication valable n'a pu être donnée à cette différence. Il est à souligner cependant que la valeur observée est inférieure à la valeur prédite, ce qui signifie que les vibrations triaxiales influenceraient moins les mécanorécepteurs à basses fréquences (corpuscules de Meissner) que les vibrations monoaxiales de même amplitude.

D. CONCLUSION

A la fréquence de test de 125 Hz, les mécanorécepteurs se comportent de la même manière lors d'une sollicitation triaxiale à 160 Hz que lors d'une sollicitation monoaxiale à 125 Hz. Cette constatation ne se vérifie pas à la fréquence de test de 31,5 Hz et on n'a pas pu valablement expliquer les différences rencontrées. D'autres études seraient nécessaires pour approfondir ce phénomène, principalement aux basses fréquences

VII. **VARIATIONS INTERINDIVIDUELLES CHEZ LES NON EXPOSES AUX VIBRATIONS MANUBRACHIALES**

A. OBJECTIF

L'objectif de cette étude est d'étudier, chez les sujets non exposés aux vibrations de manière professionnelle, la relation entre les paramètres caractérisant la perception des vibrations et les caractéristiques individuelles.

B. METHODOLOGIE PARTICULIERE

Les expériences ont été réalisées chez 33 sujets masculins, tous droitiers, sans antécédents d'ordre musculosquelettique ou neurologique et n'ayant jamais été exposés de manière professionnelle aux vibrations manubrariales. Leurs caractéristiques individuelles sont: âge: 22 à 55 ans, poids: 60 à 106 kg, taille: 168 à 190 cm.

Ces sujets ont réalisé l'expérience à 40 ms^{-2} et 125 Hz.

C. RESULTATS

Les paramètres caractéristiques de la perception des vibrations ont été étudiés, par régression multiple pas à pas, en fonction des caractéristiques personnelles, de l'état de santé psychologique, etc. Aucune relation n'a été trouvée, à l'exception de quelques liaisons entre:

- le résidu à 31,5 Hz et les antécédents chirurgicaux;
- la constante de temps à 31,5 Hz et le caractère irrité, et, à 125 Hz, avec les habitudes tabagiques;
- le TTS à 31,5 Hz et la consommation de tabac.

Ces relations sont difficilement explicables et paraissent aléatoires.

La seule liaison systématique concerne le SPV_0 , lié, tant à 31,5 qu'à 125 Hz, à l'état de santé avec respectivement des coefficients de corrélation de 0,47 et 0,56. Cette liaison n'explique cependant que 30% de la variance totale et n'est guère utile en terme de prévention.

Il est à souligner qu'aucune liaison n'a été constatée avec l'âge, le poids ou l'ancienneté professionnelle.

D. CONCLUSION

Un groupe de 33 personnes, non exposées professionnellement aux vibrations, a été soumis à une expérience standard unique à 40 ms^{-2} et 125 Hz.

Cette étude avait pour objectif principal d'élargir la base de données afin de rechercher d'éventuelles liaisons avec les caractéristiques personnelles des sujets. Cette recherche n'a pas permis de mettre en évidence des liaisons particulièrement intéressantes. Aucune raison péremptoire ne peut dès lors être proposée pour expliquer les grandes différences interindividuelles.

VIII. EFFETS A COURT TERME CHEZ LES TRAVAILLEURS UTILISATEURS DE MACHINES VIBRANTES

A. OBJECTIF

L'objectif de cette étude est de rechercher, chez les travailleurs exposés professionnellement aux vibrations manubrachiales (dont certains souffrent de HAVS), les effets à court terme lors d'une exposition aux vibrations de 30 minutes.

B. METHODOLOGIE PARTICULIERE

Les travailleurs ont été sélectionnés dans différentes entreprises: fabrication de voitures, de wagons, de sièges de véhicules ferroviaires, d'armement, de réparation de palettes et d'extraction de pierres dans les carrières (travailleurs du Groupe 1 décrits dans l'étude principale). Le tableau VIII.1 résume les données principales: tâches réalisées, machines vibrantes utilisées et amplitudes d'exposition personnelle journalière pondérée et non pondérée A_{EP} (ISO 5349).

47 sujets ont participé à l'étude. Le relevé des caractéristiques personnelles et le dépistage des anomalies et/ou neuropathies au niveau des membres supérieurs ont été réalisés au moyen du questionnaire (avec les questions se rapportant à toute la vie et aux postes de travail antérieurs) et de l'examen clinique décrits au chapitre II, ainsi que par la passation, sans exposition aux vibrations, des tests classiques (sensitifs et fonctionnels).

Sur base des données ainsi récoltées, les sujets ont été classés par rapport aux problèmes musculosquelettiques (MS) et neurologiques de la façon suivante:

1. plaintes concernant des troubles MS, 2 classes (0 et 1);
2. problèmes neurologiques, échelle de Stockholm, 4 classes (0, 1, 2 et 3);
3. problèmes neurologiques, 2 classes (0 versus 1, 2 et 3);
4. problèmes MS et/ou neurologiques, 2 classes (0 et 1).

Après l'interview et l'examen clinique, les travailleurs ont été exposés aux vibrations sur la main dominante, mais à une seule condition expérimentale de 40 ms^{-2} et 125 Hz, selon le protocole classique utilisé lors des expériences précédentes.

TABLEAU VIII.1 - Caractéristiques des postes de travail et de l'exposition journalière aux vibrations

Secteur	Tâches	Machines Utilisées	A _{EP} (ms ⁻²) (non pondérée)	A _{EP W} (ms ⁻²) (pondérée)
Automobile	Tôlerie	Boulonneuses	32,2	6,5
	Finition	Ponceuses Meuleuses	15	2,6
Siège de voitures ferroviaires	Finition	Ponceuse Meuleuse	21,2	2,8
Wagons	Préparation (meulage de pièces)	Meuleuse	77,2	6,6
Palettes	Réparation	Boulonneuse Cloueuse Foreuse Fraiseuse Visseuse Scie	21,2	5,1
Armement	canonnerie	Polisseuse	25,8	10,6
Carrières	Tailleurs de pierre	Ponceuses Meuleuses	43,4	4,7
	Rocteurs (fond) Rocteurs (surface)	Marteau piqueur	47,9	9,9

C. RESULTATS

1. Description de l'échantillon

Les caractéristiques individuelles (moyennes et écarts types) des 47 travailleurs sont repris au tableau VIII.2.

TABLEAU VIII.2 – Caractéristiques individuelles des travailleurs exposés aux vibrations

âge	38,0 ± 7,5 ans
poids	83,9 ± 13,2 kg
taille	175,8 ± 6,3 cm
ancienneté dans l'entreprise	16,1 ± 8,7 ans
ancienneté au poste (T)	9,5 ± 7,2 ans
A _{EPW} (pondérée)	6,0 ± 2,9 ms ⁻²
A _{EP} (non pondérée)	32,9 ± 16,5 ms ⁻²
dose A _{EPW} T ^{0,5} pondérée	18,0 ± 12,7 ms ⁻² an ^{0,5}
dose A _{EP} T ^{0,5} non pondérée	101,8 ± 74,5 ms ⁻² an ^{0,5}
état de santé	2 (mauvais) 14 (moyen) 31 (bon à excellent)
maladies chroniques	6 sujets
accidentés	2 aux membres supérieurs
main dominante	3 (gauchers) 44 (droitiers)
fumeurs	15 sujets
alcool	15 consommateurs (moyen à grand)
sport	19 sujets
sport membres supérieurs	2 sujets
hobbies	26 ayant des activités fréquentes impliquant des efforts physiques
hobbies avec machines vibrantes	7 sujets
état de santé psychique	15 se plaignent "souvent" de l'un ou de plusieurs symptômes de: fatigue, irritation, mal de tête, difficultés de mémoire ou de sommeil
plaintes neurologiques	13 (stade 1), 3 (stade 2), 2 (stade 3 de l'échelle de Stockholm)
plaintes MS	28 sujets

Le tableau VIII.3 compare les caractéristiques individuelles pour les travailleurs exposés aux vibrations, atteints et non atteints selon le quatrième critère de classification (MS et/ou neurologiques).

Aucune différence n'apparaît, ni en ce qui concerne les paramètres primaires (âge, poids, taille et ancienneté), ni les niveaux et doses de vibration. On peut donc considérer que ces deux groupes sont bien a priori comparables.

TABLEAU VIII.3 - Comparaison entre les travailleurs exposés atteints et non atteints (problèmes MS et/ou neurologiques).

	Non atteints	Atteints	Test-t
âge (ans)	36,1 ± 7,3	39,5 ± 7,4	NS
poids (kg)	81,6 ± 8,0	85,5 ± 15,7	NS
taille (cm)	177,7 ± 6,1	174,5 ± 6,2	NS
ancienneté entreprise (ans)	14,3 ± 7,4	17,2 ± 9,5	NS
ancienneté poste (ans)	9,4 ± 7,2	9,5 ± 7,3	NS
A _{EP} pondérée (ms ⁻²)	5,5 ± 2,9	6,7 ± 2,8	NS
A _{EP} non pondérée (ms ⁻²)	30,0 ± 12,8	37,2 ± 21,2	NS
Dose pondérée (ms ⁻² an ^{0,5})	16,6 ± 11,9	20,3 ± 14,1	NS
Dose non pondérée (ms ⁻² an ^{0,5})	98,2 ± 72,1	109,4 ± 81,4	NS

2. Le test du SPV chez les travailleurs exposés

Le tableau VIII.4 donne les résultats des tests de SPV, après la modélisation par le modèle du premier ordre, aux deux fréquences de test de 31,5 et 125 Hz. Ces résultats seront comparés à ceux des sujets non exposés aux vibrations au chapitre suivant.

TABLEAU VIII.4 - Résultats des tests de SPV chez les travailleurs exposés (moyennes et écart types).

	31,5 Hz	125 Hz
Constante (min)	1,8 ± 1,3	2,6 ± 1,1
Résidu (-)	0,19 ± 0,19	0,11 ± 0,15
TTS (dB)	16,6 ± 5,0	27,7 ± 6,0
SPV ₀ (dB)	115,0 ± 4,9	101,7 ± 6,1

Les relations entre TTS et SPV₀ sont:

- à la fréquence de 31,5 Hz: $TTS = 73,3 - 0,49 SPV_0$ (R = 0,480)
- à la fréquence de 125 Hz: $TTS = 90,6 - 0,62 SPV_0$ (R = 0,631)

Les constantes et résidus sont indépendants de SPV₀.

3. Les autres tests sensitifs et fonctionnels

Tout comme au chapitre III, les résultats des tests aux trois moments de mesurage du protocole général (avant exposition (M1), après exposition (M2) et en fin de récupération (M3)) ont été étudiés par analyse de variances à deux voies.

Le tableau VIII.5 donne les valeurs moyennes des tests sensitifs et fonctionnels aux trois moments et la différence moyenne au moment 2.

Il en ressort que, lorsque l'effet sujet est pris en compte, l'effet moment (M2 versus M1 et M3) s'avère significatif pour les tests du seuil de perception à la pression (SPP), du seuil de perception à la température au chaud et pour la zone neutre. Par contre, ils ne le sont pas pour le test de la force maximale volontaire (FMV), le seuil au froid et le test du Purdue Pegboard (PPg).

TABLEAU VIII.5 - Valeurs moyennes des tests sensitifs et fonctionnels aux trois moments de mesurage.

	M1	M2	M3	(M1 + M3)/2 - M2	Significatio n
SPP (log force)	3,75	3,85	3,77	- 0,09	***
FMV (N)	513,5	509,6	510,6	2,4	NS
Seuil froid (°C)	27,7	27,3	27,7	0,4	NS
Seuil chaud (°C)	36,9	38,9	37,6	- 1,6	***
Zone neutre (°C)	9,2	11,7	10,0	- 2,1	***
PPg (# tiges)	14,0	13,8	14,2	0,3	NS
t _{sk} (°C)	33,6	35,2	33,9	- 1,5	***

NS = non significatif *** = $p < 0,001$

On constate une élévation du seuil au chaud de 1,6°C et un élargissement de la zone neutre de 2,1 °C, soit quelque 20%. Cette élévation est associée à l'élévation de la température cutanée (t_{sk}) variant entre 33,8 °C et 35,2 °C, soit de 1,5°C en moyenne. Le test de dextérité PPg n'a pas été affecté.

4. Différences entre les travailleurs exposés atteints et non atteints

Aucune différence n'est constatée entre les 2 groupes dans les valeurs avant exposition, quel que soit le critère de classification, sauf pour la FMV. Le tableau VIII.6 illustre les résultats obtenus selon que les sujets se plaignent de troubles MS ou neurologiques.

TABLEAU VIII.6 - Résultats du test de FMV en Newtons selon le critère de classification.

Critère	Non atteints	Atteints	Différence	Signification
MS	503 ± 80	526 ± 80	23	NS
Neurologiques	493 ± 82	556 ± 656	-63	**

NS = non significatif ** = $p < 0,01$

En ce qui concerne la classification par l'échelle de Stockholm, les résultats obtenus pour la force maximale volontaire sont: 492, 550, 520 et 540 Newtons respectivement pour les stades 0, 1, 2 et 3. Ces valeurs sont tout à fait paradoxales car elles suggèrent plutôt une augmentation de la force chez les sujets atteints.

Le tableau VIII.7 donne les résultats moyens pour le test du seuil de perception aux vibrations pour les sujets exposés présentant des plaintes neurologiques et les non atteints.

TABLEAU VIII.7 - Résultats de la comparaison des paramètres de la modélisation du SPV entre les sujets atteints et non atteints (plaintes neurologiques).

	Non atteints	Atteints	Différence	Signification
TTS _(31,5Hz) (dB)	16,4 ± 4,71	16,9 ± 5,3	0,5	NS
SPV ₀ (31,5Hz) (dB)	115,3 ± 5,4	114,5 ± 3,6	- 0,8	NS
TTS _(125Hz) (dB)	28,1 ± 6,3	26,9 ± 5,1	- 1,2	NS
SPV ₀ (125Hz) (dB)	102,0 ± 6,7	101,3 ± 4,5	- 0,6	NS

NS = non significatif

Il n'y a pas de différences significatives entre sujets exposés avec et sans plaintes neurologiques, ni pour le seuil au repos (SPV₀), ni pour l'élévation après exposition aux vibrations. Inversement, le test du seuil de perception aux vibrations ne permet pas de discriminer les sujets avec et sans plaintes.

Il en est de même si le critère de classification adopté pour les "atteints" est le second et le troisième stade de l'échelle de Stockholm (le nombre d' "atteints" étant alors de 5 seulement).

5. Relation avec les caractéristiques individuelles

Les paramètres du SPV (constante de temps, résidu, TTS et SPV₀) ont été mis en relation avec les caractéristiques individuelles (par régression stepwise). Aucun de ces paramètres n'est lié à aucune caractéristique individuelle (âge, poids, taille, ...) et ces caractéristiques n'améliorent en rien la discrimination entre les travailleurs atteints et non atteints quel que soit le critère (problèmes MS, échelle de Stockholm, ...).

Le seul facteur associé aux SPV₀ tant à 31,5 Hz qu'à 125 Hz semble être les antécédents d'utilisation de machines vibrantes pendant les loisirs. Cependant, les coefficients de corrélation sont très faibles (0,18 et 0,17 respectivement).

6. Conclusion

Tant les valeurs au repos (SPV₀, SPP, SPT, FMV et PPg) que les variations suite à l'exposition aux vibrations (30 minutes à 40 ms⁻², 125 Hz) sont du même ordre chez les travailleurs exposés aux vibrations se plaignant et ne se plaignant pas de troubles MS et/ou neurologiques. Les tests utilisés ne permettent donc pas d'authentifier de telles plaintes ni de corroborer la classification suivant l'échelle de Stockholm.

IX. **SYNTHESE**

Au terme de ces études, les différentes questions de recherche décrites au chapitre I seront passées en revue et les réponses les plus appropriées leur seront apportées.

1. Quelles sont les altérations sensorielles et fonctionnelles à court terme suite à une exposition de 30 minutes aux vibrations?

- les seuils de perception à la pression et aux températures ne varient pas;
- ni la force maximale volontaire, ni la dextérité ne sont altérées;
- seuls les perceptions des vibrations sont modifiées tant aux basses (31 Hz) qu'aux hautes (125 Hz) fréquences. Ceci ne semble donc pas avoir de conséquence quant à la dextérité du travailleur.

2. Quelle est l'évolution dans le temps de ces altérations temporaires?

La modification des SPV suit une loi du premier ordre avec une constante de temps de l'ordre de 3 minutes. Ainsi, après quelque 10 minutes d'exposition, l'altération semble atteindre une valeur de régime. Après quelque 10 minutes de récupération, la valeur initiale est récupérée avec en moyenne un résidu de 10 à 20% de l'élévation temporaire.

3. Ces altérations sont-elles dépendantes de la direction des vibrations?

Aucune différence significative n'est observée, que l'exposition aux vibrations se fasse dans l'axe X, Y ou Z et donc que les mécanorécepteurs soient sollicités en compression ou en cisaillement.

4. Les altérations sont-elles les mêmes que l'exposition aux vibrations soit monoaxiale ou triaxiale?

Les SPV à 125 Hz sont altérés dans les deux cas. Par contre, à la fréquence de test de 31,5 Hz, une excitation triaxiale semble donner lieu à une altération plus faible. Ce point mériterait des recherches complémentaires. Du point de vue pratique, les vibrations rencontrées dans l'industrie sont triaxiales et seraient donc moins nocives. Nos expériences n'ont cependant été menées qu'à la fréquence d'excitation de 160 Hz, de sorte que ces constatations ne sont peut être pas extrapolables à tout type de machine.

5. Assiste-t-on à des altérations neurologiques et fonctionnelles permanentes chez les travailleurs exposés professionnellement aux vibrations?

L'étude statistique ne montre aucune différence significative et importante en ce qui concerne les caractéristiques fonctionnelles et sensibles

- ni entre exposés et non exposés aux vibrations;
- ni, parmi les exposés, entre les sujets présentant ou non des plaintes.

Ainsi les différents stades de l'échelle de Stockholm ne paraissent à nouveau pas authentifiables par les tests fonctionnels et sensitifs (voir étude principale).

6. Les majorations temporaires à court terme de SPV sont-elles les mêmes pour les différents groupes?

Les élévations temporaires du seuil de perception aux vibrations sont du même ordre que les sujets soient ou non professionnellement exposés aux vibrations (tableau IX.1). Seules les constantes de temps paraissent quelque peu (30%) plus faibles chez les utilisateurs de machines vibrantes.

TABLEAU IX.1 – Comparaison des résultats des tests de perception aux vibrations entre sujets exposés et non exposés professionnellement aux vibrations

	Non exposés (n=33)	Exposés (n=47)	Signification
31,5 Hz			
Constante (min)	2,6 ± 1,2	1,8 ± 1,3	**
Résidu (-)	0,20 ± 0,15	0,19 ± 0,19	NS
TTS (dB)	17,5 ± 5,0	16,6 ± 5,0	NS
SPV ₀ (dB)	113,8 ± 3,2	115,0 ± 4,9	NS
125 Hz			
Constante (min)	3,7 ± 0,9	2,6 ± 1,1	***
Résidu (-)	0,10 ± 0,11	0,11 ± 0,15	NS
TTS (dB)	28,2 ± 6,9	27,7 ± 6,0	NS
SPV ₀ (dB)	97,7 ± 5,0	101,7 ± 6,1	**

NS: non significatif **: p < 0,01 ***: p < 0,001

Si l'amplitude de vibration augmente d'un facteur 2

- le TTS à 31,5 Hz s'élève de 2,4 dB et le seuil de perception par conséquent d'un facteur de 1,3;
- à 125 Hz, l'élévation est de 4,2 dB, soit d'un facteur de 1,6 pour le seuil de perception.

En ce qui concerne la fréquence des vibrations à laquelle le sujet est exposé, les altérations sont plus importantes à 125 Hz qu'à 31 ou 500 Hz. Ceci est complètement en contradiction avec le système de pondération fréquentielle défini par la norme ISO 5349, comme le montre le tableau IX.2. Il est donc recommandé d'évaluer les vibrations à la fois

- avec pondération fréquentielle pour la prévision du risque de troubles vasculaires selon la norme ISO 5349
- et sans pondération pour l'estimation du risque de troubles sensoriels (SPV).

TABLEAU IX.2 – Différences systématiques de TTS (dB) observées et calculées selon le système de pondération ISO 5349 (sur base des lois de variation de TTS définies au chapitre IV).

Fréquence de test		Fréquence d'excitation		
		31,5 Hz	125 Hz	500 Hz
31,5 Hz	observée	0	+ 1	-1,7
	ISO 5349	0	-4,8	-9,6
125 Hz	observée	0	+ 6,9	-0,7
	ISO 5349	0	-8,5	-17

7. Les altérations temporaires SPV sont-elles liées à des caractéristiques individuelles particulières?

Ces altérations ne paraissent liées à aucune des caractéristiques physiologiques, anthropométriques ou psychosociales classiquement considérées.

Aucune explication ne peut donc être trouvée aux différences interindividuelles importantes.

BIBLIOGRAPHIE

Cock N., Masset D., Le diagnostic précoce de troubles musculosquelettiques du membre supérieur en médecine du travail. Cahiers de Médecine du Travail, 1994, XXXI, 2, 93-100.

International Organization for Standardization , ISO 5349: Mechanical vibration: Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration. May 1986.

Malchaire J., Predicted sweat rate in fluctuating thermal conditions. Eur. J. Appl. Physiol., 1991, 63, 282-287.