

1991

Directives générales pour la réalisation d'essai de vibrations en laboratoire

Henri Scory

Jérôme Boutin

Paul-Émile Boileau

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/guides>

Citation recommandée

Scory, H., Boutin, J. et Boileau, P. E. (1991). *Directives générales pour la réalisation d'essai de vibrations en laboratoire* (Guide n° T-17). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Guides par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

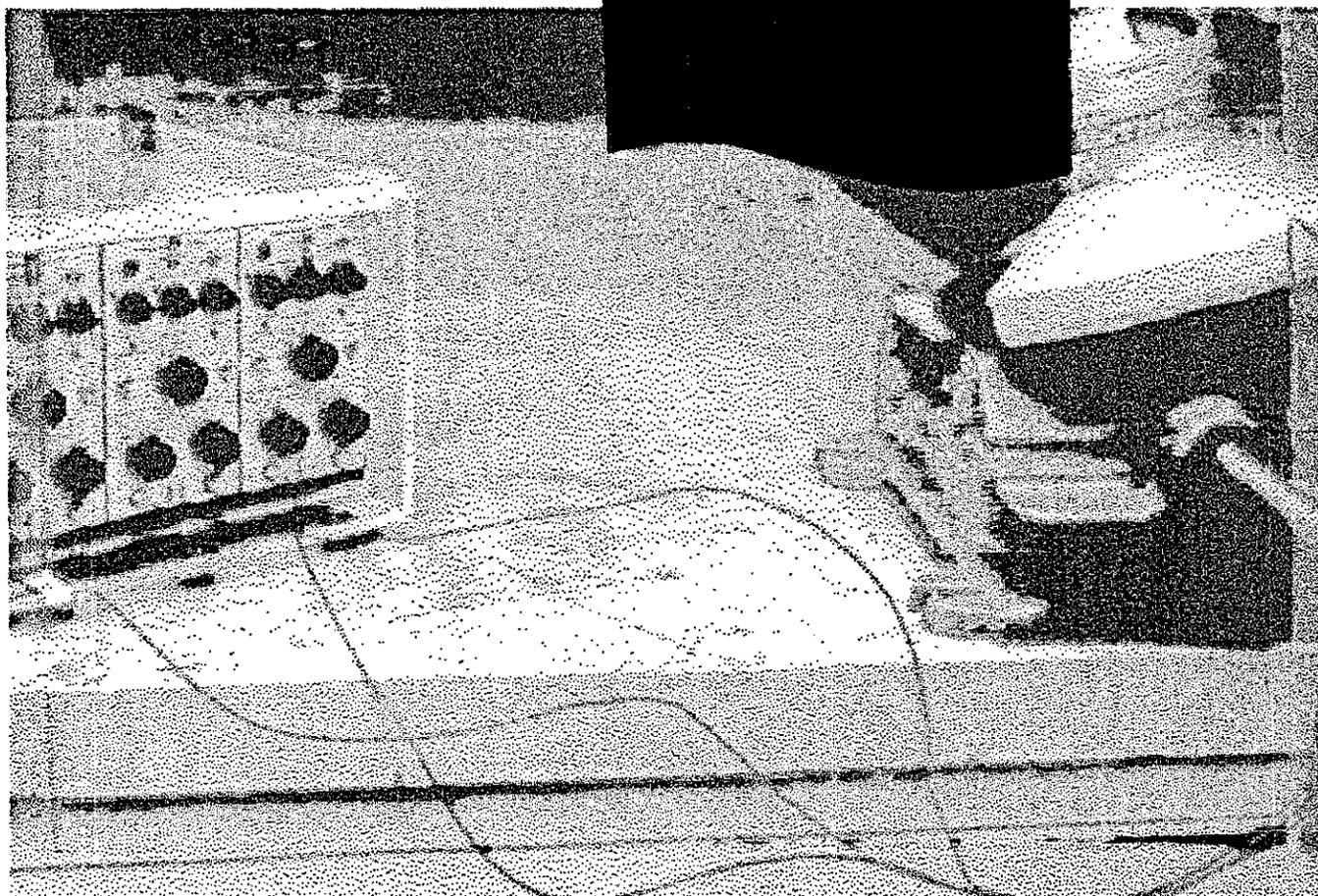
**Directives générales
pour la réalisation
d'essai de vibrations
en laboratoires**

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Henri Scory
Jérôme Boutin
Paul-Émile Boileau

Septembre 1991 T-17

GUIDE TECHNIQUE



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Directives générales
pour la réalisation
d'essai de vibrations
en laboratoires**

Henri Scory et Jérôme Boutin
Programme soutien analytique, IRSST

Paul-Émile Boileau
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

GUIDE TECHNIQUE

TABLE DES MATIÈRES

SECTION	PAGE
1. INTRODUCTION	1
2. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION	2
3. DÉFINITIONS	3
3.1 x_h, y_h, z_h	3
3.2 $awxh1, awyh1, awzh1, awxh2, awyh2, awzh2$	4
3.3 $awxh, awyh, awzh$	5
3.4 $aeqh1, aeqh2$	6
3.5 $aeqh$	6
3.6 F_c	6
3.7 F_f	7
3.8 C_a	8
3.9 s_1^2, s_2^2, s_3^2	9
3.10 s_r^2	10
3.11 s_o^2	10
3.12 s_R^2	11
3.13 r	11
3.14 R	11
4. SYSTÈME DE MESURAGE DES ACCÉLÉRATIONS ET DE CONTRÔLE DES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES	12
4.1 Liste des équipements	12
4.2 Précision des mesures	13
4.3 Détection des vibrations	14
4.3.1 Points de détection et fixations des accéléromètres	14
4.3.2 Masse des accéléromètres	15
4.3.3 Axe de référence	15

TABLE DES MATIÈRES (suite)

SECTION	PAGE	
4.4	Chaîne de mesurage des accélérations et de contrôle des conditions expérimentales	16
4.5	Contrôle des conditions expérimentales des essais	17
4.5.1	Configuration des machines	18
4.5.2	Posture de travail	19
4.5.3	Évaluation de la fluctuation de la charge	19
4.5.4	Évaluation de la fluctuation du régime d'opération	19
4.5.5	Réglage de l'alimentation pneumatique	20
5.	PROCESSUS EXPÉRIMENTAL	20
5.1	Protocole opératoire	21
5.2	Validation des résultats d'essais	24
5.2.1	Critère de répétabilité	24
5.2.2	Critère de reproductibilité	24
5.2.3	Traitement statistique des résultats des essais	25
6.	CONTENU DU RAPPORT D'ESSAIS DE VIBRATION	26
7.	FIDÉLITÉ	30
8.	CONCLUSION	30
9.	BIBLIOGRAPHIE	32
ANNEXE	34

LISTE DES FIGURES

	PAGE
Figure 1 : Systèmes de coordonnées basicentriques et biodynamiques	4
Figure 2 : Exemple de montage des accéléromètres uniaxiaux sur la poignée d'une machine	14
Figure 3 : Chaîne de mesurage des accélérations et de contrôle des conditions expérimentales	16
Figure 4 : Sommaire du processus expérimental	23

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 1 : Facteurs de pondération fréquentielle "main-bras" basés sur la norme ISO 5349	5

Méthode de laboratoires

1. INTRODUCTION

Le présent document formule des directives générales pour la mesure objective, en laboratoire, des vibrations transmises aux opérateurs de machines tenues et guidées à la main.

L'un des objectifs principaux des essais est de permettre la comparaison, au point de vue vibratoire, des différents modèles et marques de machines d'un même type entre elles alors qu'elles sont opérées sous des conditions de laboratoire contrôlées et avec des outils spécifiques.

En plus de fournir des données intéressantes pour la caractérisation physique des vibrations pouvant affecter les mains et les bras des opérateurs, les résultats des essais, en conjonction avec une relation dose-effet connue [3], permettent de juger du degré de sévérité de la contrainte vibratoire subie par les opérateurs lors de l'exécution d'une opération particulière effectuée à l'aide d'une machine et d'un outil particuliers.

La méthodologie définie dans ce document pour le déroulement et l'application des essais de vibration vise à obtenir, en regard de critères de précision, de répétabilité et de reproductibilité, des résultats de mesure jugés satisfaisants.

Les résultats d'essais obtenus devraient permettre :

- la comparaison des vibrations émises par des machines de même type, de même taille et utilisant des outils de même type;
- la comparaison des vibrations émises par des machines de même type, de tailles différentes ou de mêmes tailles, utilisant des outils de types différents;
- l'évaluation du rapport entre la contrainte vibratoire, effectivement subie par l'opérateur, et une limite d'exposition qui serait jugée sécuritaire (e.g. valeurs limites d'exposition de l'ACGIH [4]);

- la détermination du degré d'atténuation des vibrations qu'il serait nécessaire de rechercher en certaines circonstances;
- l'évaluation de l'efficacité réelle d'atténuation d'un système anti-vibratoire, actuellement mis en place ou en cours de développement.

Les directives mentionnées dans le présent document s'inspirent des normes internationales existantes [6,13] de même que des travaux de normalisation effectués principalement par le comité européen des constructeurs de compresseurs, pompes à vide et outils à air comprimé (PNEUROPE) et par les laboratoires de mesures physiques de l'Institut national de recherche et de sécurité de la France (INRS). Bien que des méthodes d'essais aient déjà été mises au point et publiées sous forme expérimentale par ces organismes [5,7], des travaux se poursuivent encore dans le but d'améliorer les méthodes décrites pour produire un degré de répétabilité encore meilleur des niveaux de vibration lorsqu'une machine et un outil est soumis à une série d'essais successifs dans des conditions identiques d'opération. La difficulté à atteindre un degré satisfaisant de répétabilité dans des conditions d'opérations similaires au milieu de travail constitue le problème fondamental à surmonter pour valider ces codes d'essais.

2. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent document propose une méthodologie pour déterminer les caractéristiques physiques des vibrations sur les poignées des machines vibrantes et pour estimer la contrainte vibratoire imposée aux mains et aux bras des opérateurs lors de l'utilisation de ces machines.

Les directives générales sont formulées dans ce document pour un type de machines possédant deux poignées.

Méthode de laboratoires

En se basant dans son principe sur certains codes d'essais existants [5,6,7], ce document spécifie des conditions générales de mise en oeuvre des essais en laboratoire et des moyens de contrôle qui peuvent être utilisés pour assurer le bon déroulement des essais.

Pour une suite d'essais donnée la valeur des paramètres statistiques de répétabilité et de reproductibilité calculés pour l'ensemble des essais constituent les critères de validation de cette suite d'essais et fournissent une indication de la fidélité des résultats.

3. DÉFINITIONS

Cette section définit les méthodes de calcul employées pour l'obtention des résultats et les symboles et les abréviations utilisés dans ce document pour l'expression des résultats de mesure.

3.1 x_h, y_h, z_h : Directions d'un système de coordonnées orthogonales par rapport auxquelles sont effectuées les mesures de vibration. Dans le système de coordonnées biodynamique, l'origine se situe dans la tête du troisième métacarpien avec l'axe z_h défini par l'axe longitudinal de cet os. L'axe x_h est alors perpendiculaire à la paume de la main tandis que l'axe y_h est dans le plan de la main. Un deuxième système, plus facile à utiliser, est le système de coordonnées basicentriques ayant comme origine un point à l'interface de la main et de la poignée. Pour une main agrippant une poignée cylindrique, l'axe y_h est parallèle à l'axe de symétrie de la poignée, l'axe x_h est perpendiculaire à la paume de la main et l'axe z_h est perpendiculaire à l'axe de symétrie de la poignée. C'est ce dernier système de référence qui est utilisé dans les présentes directives d'essais pour rapporter les mesures des vibrations mécaniques. La figure 1 illustre les deux systèmes de référence.

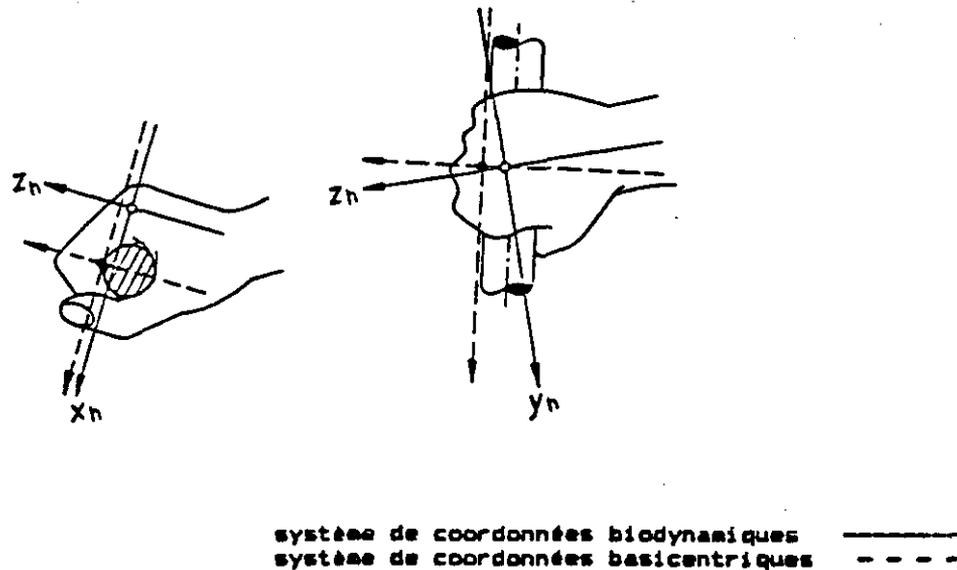


Figure 1 : Systèmes de coordonnées basicentriques et biodynamiques.

3.2 a_{wxh1} , a_{wyh1} , a_{wzh1} , a_{wxh2} , a_{wyh2} , a_{wzh2} : Niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée calculés sur la durée totale d'un essai (à vide ou en charge). Les indices x_h , y_h et z_h indiquent la direction de l'axe de mesure et les indices 1 et 2 indiquent respectivement la poignée droite et la poignée gauche. Ces niveaux efficaces sont obtenus à partir d'une analyse en bandes de fréquence de 1/3 d'octave dans la gamme des fréquences centrales de 6,3 à 1250 Hertz. Par exemple, pour l'axe x de la poignée droite ce niveau efficace est défini par la relation :

$$a_{wxh1} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{xh1i} \cdot f_{pi})^2}$$

où :

n = nombre total (24) de bandes de fréquences de 1/3 d'octave de 6,3 Hertz à 1250 Hertz.

Méthode de laboratoires

a_{xh1} = valeur efficace de l'accélération mesurée dans la i ème bande de fréquence de 1/3 d'octave selon la direction xh de la poignée droite.

f_{pi} = facteur de pondération correspondant au filtre "main-bras" de la norme ISO 5349 [3] associé à la i ème bande de fréquence de 1/3 d'octave (voir tableau 1 ci-après).

Fréquence (Hz)	Gain nominal (dB)	Facteur de pondération	Fréquence (Hz)	Gain nominal (dB)	Facteur de pondération
6,3	0	1	100	-16	0,16
8,0	0	1	125	-18	0,125
10,0	0	1	160	-20	0,1
12,5	0	1	200	-22	0,08
16	0	1	250	-24	0,063
20	-2	0,8	315	-26	0,05
25	-4	0,63	400	-28	0,04
31,5	-6	0,5	500	-30	0,03
40	-8	0,4	630	-32	0,025
50	-10	0,3	800	-34	0,02
63	-12	0,25	1000	-36	0,01
80	-14	0,2	1250	-38	0,0125

Tableau 1 : Facteurs de pondération fréquentielle "main-bras" basés sur la norme ISO 5349.

3.3 a_{wxh} , a_{wyh} , a_{wzh} : Niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée calculés sur la durée totale d'un essai en charge et définissant la contrainte vibratoire pour une direction donnée en tenant compte des 2 points de détection de l'une et l'autre des poignées. Par exemple, pour la direction xh ce niveau efficace est défini par la relation :

$$a_{wxh} = \sqrt{\frac{(a_{wxh1}^2 + a_{wxh2}^2)}{2}}$$

3.4 a_{eqh1} , a_{eqh2} : Niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée calculés sur la durée totale d'un essai en charge et définissant la contrainte vibratoire globale sur l'une ou l'autre des poignées. Par exemple pour la poignée droite ce niveau efficace est défini par la relation :

$$a_{eqh1} = \sqrt{a_{wxh1}^2 + a_{wyh1}^2 + a_{wzh1}^2}$$

3.5 a_{eqh} : Niveau efficace de l'accélération globale pondérée calculé sur la durée totale d'un essai en charge et définissant la contrainte vibratoire globale en tenant compte des 2 points de détection de l'une et l'autre des poignées. Ce niveau efficace est défini par la relation :

$$a_{eqh} = \sqrt{\frac{(a_{wxh1}^2 + a_{wxh2}^2)}{2} + \frac{(a_{wyh1}^2 + a_{wyh2}^2)}{2} + \frac{(a_{wzh1}^2 + a_{wzh2}^2)}{2}}$$

Ce niveau efficace d'accélération correspond donc à la moyenne quadratique des niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée a_{eqh1} et a_{eqh2} de chacun des 2 points de mesure soit :

$$a_{eqh} = \sqrt{\frac{(a_{eqh1}^2 + a_{eqh2}^2)}{2}}$$

3.6 F_c : Facteur de crête du signal d'accélération pondéré évalué sur la durée totale d'un essai en charge (2 minutes). Le facteur de crête donne une indication du degré impulsif des vibrations. Par exemple pour la direction de l'axe xh de la poignée droite, le facteur de crête est défini par la relation :

Méthode de laboratoires

$$F_c = \frac{a_{wxh1} \text{ (crête maximum)}}{a_{wxh1}}$$

où :

a_{wxh1} (crête maximum) = la valeur de crête instantanée maximale (positive ou négative) du signal d'accélération pondéré évaluée sur la durée totale d'un essai en charge (2 minutes) et mesurée selon la direction de l'axe xh de la poignée 1

a_{wxh1} = le niveau efficace de l'accélération globale pondérée calculé sur la durée totale d'un essai en charge (2 minutes) et mesuré selon la direction de l'axe xh de la poignée 1.

3.7 Ff : Facteur de forme du signal d'accélération non pondéré calculé sur la durée totale d'un essai en charge (2 minutes). Le facteur de forme fournit un indice numérique utilisé pour caractériser la forme des impulsions pouvant être contenues dans un signal.

Pour chacune des 2 poignées, le facteur de forme est déterminé en utilisant les signaux générés au cours de tous les essais en charge et dans une seule direction. La direction choisie correspond à la direction où le niveau efficace moyen de vibration, calculé pour tous les essais en charge, s'est avéré le plus élevé.

Par exemple, pour l'axe dominant xh de la poignée droite, le facteur de forme est défini par la relation :

$$Ff = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_{xh1}^2(t) \cdot dt}}{\frac{1}{T} \int_0^T |a_{xh1}(t)| \cdot dt} = \frac{a_{xh1}}{|a_{xh1}|}$$

où :

$a_{xh1}(t)$ = le niveau instantané du signal d'accélération non pondéré issu de l'accéléromètre orienté selon la direction de l'axe x_h de la poignée 1

a_{xh1} = le niveau efficace du signal d'accélération non pondéré issu de l'accéléromètre orienté selon la direction de l'axe x_h de la poignée 1

$|a_{xh1}|$ = la valeur moyenne du niveau absolu du signal d'accélération non pondéré issu de l'accéléromètre orienté selon la direction de l'axe x_h de la poignée 1

T = la durée totale du calcul fixée à 48 minutes pour l'ensemble des 24 essais en charge.

3.8 Ca : Coefficient d'aplatissement de la distribution d'amplitude du signal d'accélération pondéré calculé sur la durée totale d'un essai en charge. Ce coefficient est un descripteur statistique utilisé pour décrire le caractère variable de l'amplitude d'un signal. Le coefficient est déterminé pour les 2 mêmes ensembles de signaux d'essais en charge que ceux sélectionnés pour la détermination du facteur de forme (voir section 3.7). Par exemple, pour l'axe dominant x_h de la poignée droite, le coefficient d'aplatissement est défini par la relation :

$$Ca = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T a_{wxh1}^4(t) \cdot dt}{\left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{wxh1}^2(t) \cdot dt \right]^2} = \left[\frac{a_{rmqhx1}}{a_{wxh1}} \right]^4$$

où :

Méthode de laboratoires

$a_{wxh1}(t)$ = le niveau instantané du signal d'accélération pondéré issu de l'accéléromètre orienté selon la direction de l'axe xh de la poignée 1

$armq_{xh1}$ = la valeur quadri-puissance du signal d'accélération pondéré issu de l'accéléromètre orienté selon la direction de l'axe xh de la poignée 1

a_{wxh1} = le niveau efficace du signal d'accélération pondéré issu de l'accéléromètre orienté selon la direction de l'axe xh de la poignée 1

T = la durée totale du calcul fixée à 48 minutes pour l'ensemble des essais en charge.

3.9 s_1^2, s_2^2, s_3^2 : variances intraséries caractérisant pour chacune des 3 séries de 8 essais, la dispersion des résultats autour de leur valeur moyenne. Par exemple, pour les niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée, mesurés selon la direction de l'axe xh de la poignée droite au cours de la série d'essais #1, la variance intrasérie est définie par la relation :

$$s_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_{wxh1i} - \overline{a_{wxh1}})^2$$

où

n = le nombre total d'essais, fixé à 8 constituant une série complète d'essais effectuée par un même opérateur.

a_{wxh1i} = chacun des 8 niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée mesurés selon la direction de l'axe xh de la poignée droite au cours de la série d'essais #1

10 Directives générales pour la réalisation d'essais de vibration en laboratoire

Méthode de laboratoires

$\overline{awxh1}$ = la moyenne arithmétique des 8 niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée mesurés selon la direction de l'axe xh de la poignée droite au cours de la série d'essais #1.

3.10 s_r^2 : variance de répétabilité des résultats des 3 séries de 8 essais, égale à la valeur moyenne des variances intraséries. La variance de répétabilité est définie par la relation :

$$s_r^2 = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p s_i^2$$

où :

P = le nombre total de séries d'essais effectués par des opérateurs différents, fixé à 3

s_i^2 = variance intrasérie associée à la ième série de 8 essais.

3.11 s_o^2 : Variance inter-opérateur caractérisant la variabilité entre les opérateurs. Par exemple, pour l'ensemble des 24 résultats de mesure des niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée, mesurés selon la direction de l'axe xh de la poignée droite au cours des 3 séries d'essais, la variance interopérateur est définie par la relation :

$$s_o^2 = \frac{p \left(\sum_{i=1}^p \overline{awxh1_i}^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^p \overline{awxh1_i} \right)^2}{p(p-1)} - \frac{s_r^2}{n}$$

où :

Méthode de laboratoires

$\overline{aw_{xh1i}}$ = la moyenne arithmétique des 8 niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée, mesurés selon la direction de l'axe x_h de la poignée droite au cours de la série #i

P = le nombre total de séries d'essais effectuées par des opérateurs différents, fixé à 3

n = le nombre total d'essais par série, fixé à 8

n.b. : si par suite d'erreurs aléatoires, on obtient une valeur négative de s_o^2 , la valeur de s_o^2 trouvée est remplacée par une valeur égale à zéro et cette correction est indiquée dans le rapport d'essais.

3.12 s_R^2 : Variance de reproductibilité intersérie égale à la somme de la variance de répétabilité et de la variance inter-opérateur. Par exemple pour un ensemble donné de 24 résultats, tous obtenus selon un même axe de direction au cours des 3 séries de 8 essais, la variance de reproductibilité est définie par la relation :

$$s_R^2 = s_r^2 + s_o^2$$

3.13 r : Différence critique de répétabilité à un seuil de 95% caractérisant la différence entre 2 résultats d'essais, effectués par un même opérateur, qui ne sera pas dépassée en moyenne plus d'une fois sur 20 lors de l'application correcte des directives d'essais. La différence critique de répétabilité est définie par la relation :

$$r = 2.8 s_r$$

3.14 R : Différence critique de reproductibilité à un seuil de 95% caractérisant la différence entre 2 résultats d'essais, effectués par 2 opérateurs différents, qui ne sera pas dépassée en moyenne plus d'une fois sur 20 lors de l'application correcte des directives d'essais. La différence critique de reproductibilité est définie par la relation :

$$R = 2.8 s_R$$

4. SYSTÈME DE MESURAGE DES ACCÉLÉRATIONS ET DE CONTRÔLE DES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

4.1 Liste des équipements

Le système de mesurage et de contrôle utilisé est constitué des instruments suivants :

- 6 accéléromètres uniaxiaux Brüel & Kjaer modèle 4393 avec adaptateurs cylindriques (8) et colliers de serrage;
- 6 préamplificateurs de charge Brüel & Kjaer modèle 2635;
- enregistreur DAT SONY modèle PC 108M;
- analyseur en bandes de fréquences de 1/3 d'octave Norwegian Electronic modèle 830;
- amplificateur de mesure Brüel & Kjaer modèle 2636;
- analyseur FFT Brüel & Kjaer modèle 2032;
- filtre analogique de pondération en fréquence "main-bras" (H.A.) basée sur la norme ISO 5349;
- ordinateur Hewlett Packard Integral PC;
- ordinateur Commodore Amiga 3000;
- système de pesée Western Scale Co. modèle WSB 2430 avec une unité de lecture modèle DF2000;

Méthode de laboratoires

- fréquencesmètre Philips modèle 6672;
- cellule photoélectrique;
- système d'affichage à segments lumineux;
- 2 compresseurs Binks modèle 3360-69 inter-reliés (50 HP);
- système de lubrification et de régularisation de pression ATLAS-COPCO modèle 9706-8309-04.

4.2 Précision des mesures

L'instrumentation de mesure des signaux d'accélération est conforme aux exigences de précision des appareillages de classe 1 spécifiées dans l'avant-projet de norme ISO/DIS 8041 (1987) [9] relativement aux systèmes d'analyse des vibrations "main-bras".

Le système d'analyse permet l'obtention des valeurs efficaces de l'accélération basées sur une intégration linéaire conforme aux exigences de précision des appareils intégrateurs de classe 1 spécifiées dans la norme CEI 804 (1985) [10].

Les composantes de la charge exercée par l'opérateur au cours des essais en charge sont mesurées avec une précision de ± 2 N.

Le régime d'opération (cadence de frappe, vitesse de rotation...) des machines est mesuré avec une précision de ± 1 %.

L'alimentation pneumatique peut être ajustée avec une précision de ± 5 %.

4.3 Détection des vibrations

4.3.1 Points de détection et fixations des accéléromètres

Les vibrations sont détectées simultanément dans la zone de préhension de chacune des poignées à l'aide de petits accéléromètres uniaxiaux orientés selon le système de coordonnées basicentriques.

Les accéléromètres uniaxiaux sont montés sur des supports métalliques qui sont fixés aux poignées à l'aide de colliers de serrage tels qu'illustrés à la figure 2. La forme et les dimensions des supports permettent un passage aisé des accéléromètres entre le médius et l'annulaire de chacune des mains de l'opérateur. Les détails relatifs aux supports, à leur réponse en fréquence et à leur méthode de fixation apparaissent dans un document traitant de la méthodologie d'évaluation [8] cité en référence.

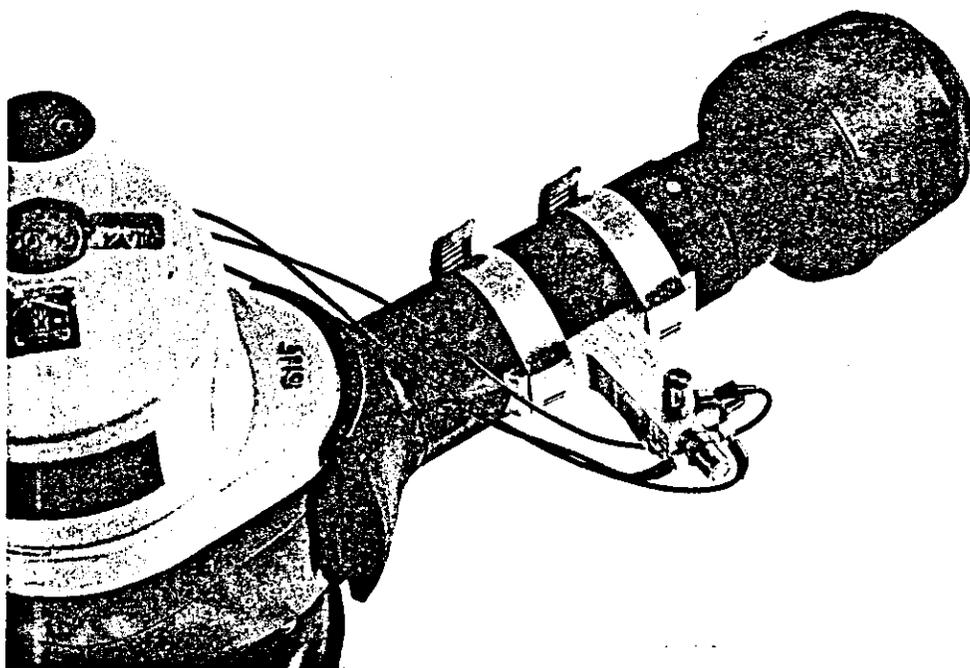


Figure 2 : Exemple de montage des accéléromètres uniaxiaux sur la poignée d'une machine.

Méthode de laboratoires

4.3.2 Masse des accéléromètres

La masse totale de chaque ensemble constitué des 3 accéléromètres uniaxiaux, de leur support métallique et des 2 colliers de serrage ne dépasse pas 90 grammes.

4.3.3 Axe de référence

Pour une machine donnée l'axe de mesure orienté selon la direction où le niveau de vibration est maximum est choisi comme axe de référence. Dans le cas des machines comportant deux poignées symétriques le point de mesure de l'axe de référence sera pris sur la poignée ne comportant pas de gâchette.

Les signaux issus de l'accéléromètre orienté selon cet axe sont utilisés pour les mesures de contrôle des critères de répétabilité et de reproductibilité lors des essais à vide.

4.4 Chaîne de mesurage des accélérations et de contrôle des conditions expérimentales

La chaîne d'acquisition et d'analyse des signaux vibratoires et de contrôle des conditions expérimentales est illustrée à la figure 3.

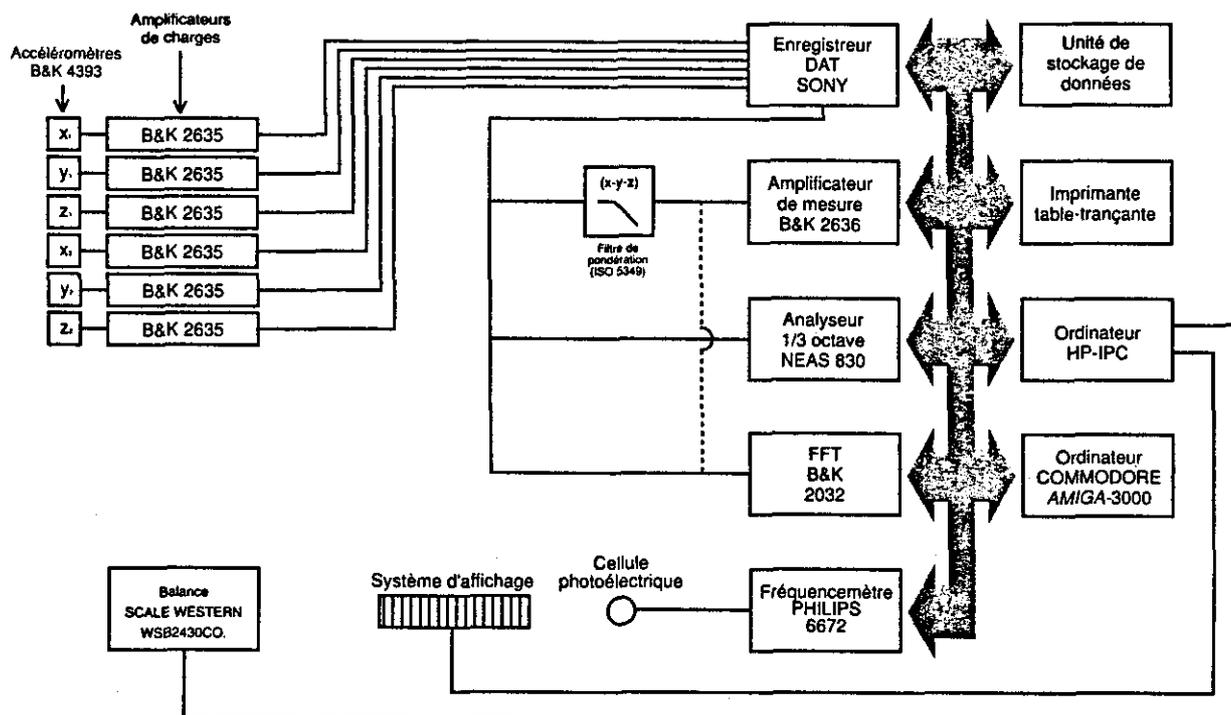


Figure 3 : Chaîne de mesurage des accélérations et de contrôle des conditions expérimentales.

Un bref aperçu de l'utilisation des équipements est donné ci-après.

Au cours de chaque essai en charge, les signaux d'accélération générés selon chacun des 6 axes de mesure sont mémorisés à l'aide de l'enregistreur DAT multipiste pour être analysés en différé.

Méthode de laboratoires

L'analyseur en bande de fréquence de 1/3 d'octave est utilisé pour obtenir les spectres en fréquence des signaux d'accélération et permettre le calcul des valeurs efficaces des accélérations globales pondérées ($awxh1$, $awyh1$, $awzh1$, $awxh2$, $awyh2$, $awzh2$) .

Les valeurs de crête maximales des signaux d'accélération sont obtenues au moyen de l'amplificateur de mesure et du filtre de pondération analogique.

L'ordinateur HP Integral PC est utilisé pour le contrôle du déroulement des essais, la mesure et le tracé des fluctuations de la charge et du régime d'opération et pour l'opération du système d'affichage lumineux sensible aux fluctuations du régime d'opération. Une fois les essais terminés, cet ordinateur effectue enfin de façon automatique les analyses des signaux d'accélération, le traitement statistique des résultats et l'impression du rapport d'essais de vibration.

L'analyseur FFT servant de convertisseur analogue à numérique en temps réel et l'ordinateur AMIGA 3000 sont utilisés pour la détermination du facteur de forme et du coefficient d'aplatissement de la distribution d'amplitude des signaux d'accélération de certains essais et pour l'obtention des facteurs de crête à un seuil de probabilité donné.

4.5 Contrôle des conditions expérimentales des essais

De nombreuses variables d'essais ont une importance déterminante sur les amplitudes des niveaux de vibrations générés et par conséquent sur la représentativité (répétabilité, reproductibilité) des niveaux moyens de vibration calculés.

Parmi ces variables nous pouvons noter: le nombre total d'essais effectués, le nombre total d'opérateurs différents ayant effectué les essais, la capacité individuelle de chaque opérateur à maintenir constante leur charge verticale et le régime d'opération des machines à des valeurs pré-établies, le poids des machines, l'état des machines, la régularité de l'alimentation des machines, la méthode de travail utilisée, la tâche précise effectuée, le type d'outil utilisé, l'usure de l'outil, etc...

Des directives précises et des mesures de contrôle adéquates doivent être spécifiées afin de réduire toutes ces influences au minimum et assurer la meilleure qualité possible aux résultats expérimentaux.

Le rapport d'essais doit indiquer précisément les mesures de contrôle qui ont été utilisées et les limites de variabilité.

Lors des essais, un opérateur se positionne sur un système de pesée devant une table de travail sur laquelle une pièce à ouvrager est fixée. Après avoir opéré la machine à vide (sans interaction avec la pièce à ouvrager) durant un certain temps, il procède au travail de la pièce pour une durée prédéterminée. Pendant ces opérations, la charge exercée ainsi que le régime d'opération de la machine sont contrôlées par un système informatique. Un système d'affichage lumineux, sensible aux fluctuations du régime d'opération, sert d'indicateur pour l'opérateur et permet à celui-ci d'ajuster sa manière de procéder afin de maintenir des conditions d'essais les plus constantes possibles à l'intérieur de limites spécifiées. Les essais à vide et en charge sont ensuite successivement répétés un certain nombre de fois par le même opérateur puis par deux autres opérateurs dans des conditions d'opération aussi identiques que possible. On précise ci-après les conditions de mise en oeuvre des essais et les techniques de contrôle des variables expérimentales.

4.5.1 Configuration des machines

Les essais sont toujours effectués sur des machines en parfait état de marche et neuves de préférence.

Les machines sont opérées (alimentation, lubrification...) selon les indications du fabricant.

Un outil neuf (burin, meule...) est utilisé au début de chaque série d'essais effectuée par chaque opérateur. Cet outil, selon le but des essais, est généralement choisi

Méthode de laboratoires

pour avoir le plus grand moment d'inertie ou la masse la plus élevée parmi les outils adaptables à la machine à l'essai. Toutes les précisions relatives aux particularités de la machine et de l'outil expérimentés doivent être indiquées dans le rapport d'essais de vibration.

4.5.2 Posture de travail

La posture de travail prise par les opérateurs lors des essais en charge est établie de telle sorte que le travail typique puisse être effectué selon les usages de la profession.

4.5.3 Évaluation de la fluctuation de la charge

Le système de pesée relié à un ordinateur permet la mesure et le tracé graphique de la charge instantanée fournie par l'opérateur au cours des essais en charge. Ce système de pesée sur lequel est monté l'opérateur permet d'obtenir une mesure fidèle des composantes horizontale et verticale de la charge appliquée par l'opérateur sur la pièce à ouvrager au cours des essais.

Durant la période complète de chacun des essais en charge l'échantillonnage numérique de la charge instantanée est effectué 10 fois par seconde par l'ordinateur. À partir de toutes ces mesures, l'ordinateur procède au calcul de la valeur moyenne de la charge instantanée, de son écart-type et détermine la valeur maximum et la valeur minimum survenues au cours de l'essai.

4.5.4 Évaluation de la fluctuation du régime d'opération

Le système de mesure du régime d'opération, constitué d'une cellule photoélectrique et d'un fréquencemètre relié à un ordinateur, permet la mesure et le tracé graphique du régime d'opération instantané de la machine au cours des essais à vide et en charge.

Durant la période complète de chacun des essais (à vide ou en charge) l'échantillonnage numérique du régime d'opération instantané est effectué 10 fois par seconde par l'ordinateur. À partir de toutes ces mesures, l'ordinateur procède au calcul de la valeur moyenne du régime d'opération instantané, de son écart-type et détermine la valeur maximum et la valeur minimum survenues au cours de l'essai.

Un système d'affichage à 31 segments lumineux a été développé pour faciliter l'exécution des essais en charge à une valeur pré-établie du régime d'opération et pour aider l'opérateur à limiter la fluctuation du régime d'opération instantané de la machine autour de la valeur pré-établie. Le système d'affichage est sensible aux variations de ce paramètre. Le segment central est mis sous tension lorsque le régime d'opération de la machine est égal à 80% du régime d'opération nominal à vide, spécifié par le fabricant, et qui correspond au régime d'opération visé lors des essais en charge. Les segments latéraux, 15 de chaque côté, s'activent lorsque le régime d'opération instantané varie d'une quantité égale à plus ou moins 0,5% du régime d'opération spécifié pour les essais en charge.

4.5.5 Réglage de l'alimentation pneumatique

Le compresseur et le système de lubrification et de régularisation de pression permet l'opération des machines conformément aux indications fournies par les fabricants en ce qui a trait à la pression d'alimentation recommandée et au débit d'air nécessaire au bon fonctionnement des machines.

5. PROCESSUS EXPÉRIMENTAL

Les sections suivantes stipulent le processus expérimental et les critères d'acceptabilité des essais de vibration.

Méthode de laboratoires

5.1 Protocole opératoire

Le rapport d'essais doit mentionner de manière détaillée le travail effectué et la méthode utilisée par les opérateurs.

Un contrôle sévère est effectué sur la variation instantanée de la charge appliquée par les opérateurs et sur la variation instantanée du régime d'opération de la machine.

Pour une expérimentation donnée, des tolérances limites sur la variation instantanée maximum et minimum et sur les écarts types sur les valeurs moyennes de ces paramètres sont imposées par l'expérimentateur pour assurer la plus grande validité possible des résultats.

Les valeurs de ces tolérances acceptables sont variables car elles sont fonction, entre autre, du régime d'opération nominale et du poids de la machine expérimentée ainsi que du type d'outil utilisé pour les essais. Afin de pouvoir juger des tolérances maximales qui ont été acceptées pour la fluctuation de ces paramètres au cours de la série complète des 24 essais en charge valables, le rapport d'essais présente les graphiques des fluctuations maximum de charge et de régime d'opération qui ont été notées au cours de ces 24 essais en charge.

La durée de chaque essai en charge est de 2 minutes.

Avant et après chaque essai en charge, la machine est opérée à vide et le niveau efficace de l'accélération globale pondérée générée selon l'axe de référence est mesuré pendant 20 secondes une fois le régime d'opération stabilisé.

L'observation successive de ces valeurs permet de mettre en évidence toute influence, possiblement provoquée par une usure inégale et un débalancement de l'outil au cours des essais en charge, qui aurait pour effet de modifier les conditions expérimentales. Pour ces essais à vide, la machine est maintenue à quelques centimètres au-dessus de la surface de travail.

Les résultats des essais en charge d'un même opérateur sont considérés valables et sont retenus pour un traitement ultérieur si et seulement si la variation des niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée selon la direction de l'axe de référence, qui ont été obtenus pour une série continue de 9 essais à vide, se situe dans un intervalle donné. Cet intervalle est spécifié à la section 5.2.1 et constitue le critère de répétabilité des essais d'un même opérateur.

Les essais à vide et en charge sont ainsi répétés par le même opérateur jusqu'à l'obtention d'une série continue de 8 essais en charge valables.

Pour une même machine à l'essai, un minimum de 3 séries de 8 essais en charge valables doivent être obtenues par 3 opérateurs différents, chaque opérateur débutant sa série d'essais avec un outil neuf identique. La section 5.2.2 spécifie le critère de reproductibilité de ces 3 séries de 8 essais en charge, constituant la condition première de validité de l'ensemble des résultats des 24 essais en charge effectués par les 3 opérateurs.

Les séries de 8 essais en charge sont ainsi répétées par des opérateurs différents jusqu'à l'obtention de 3 séries de 8 essais en charge valables.

La figure 4 présente un sommaire du déroulement du processus expérimental.

Méthode de laboratoires

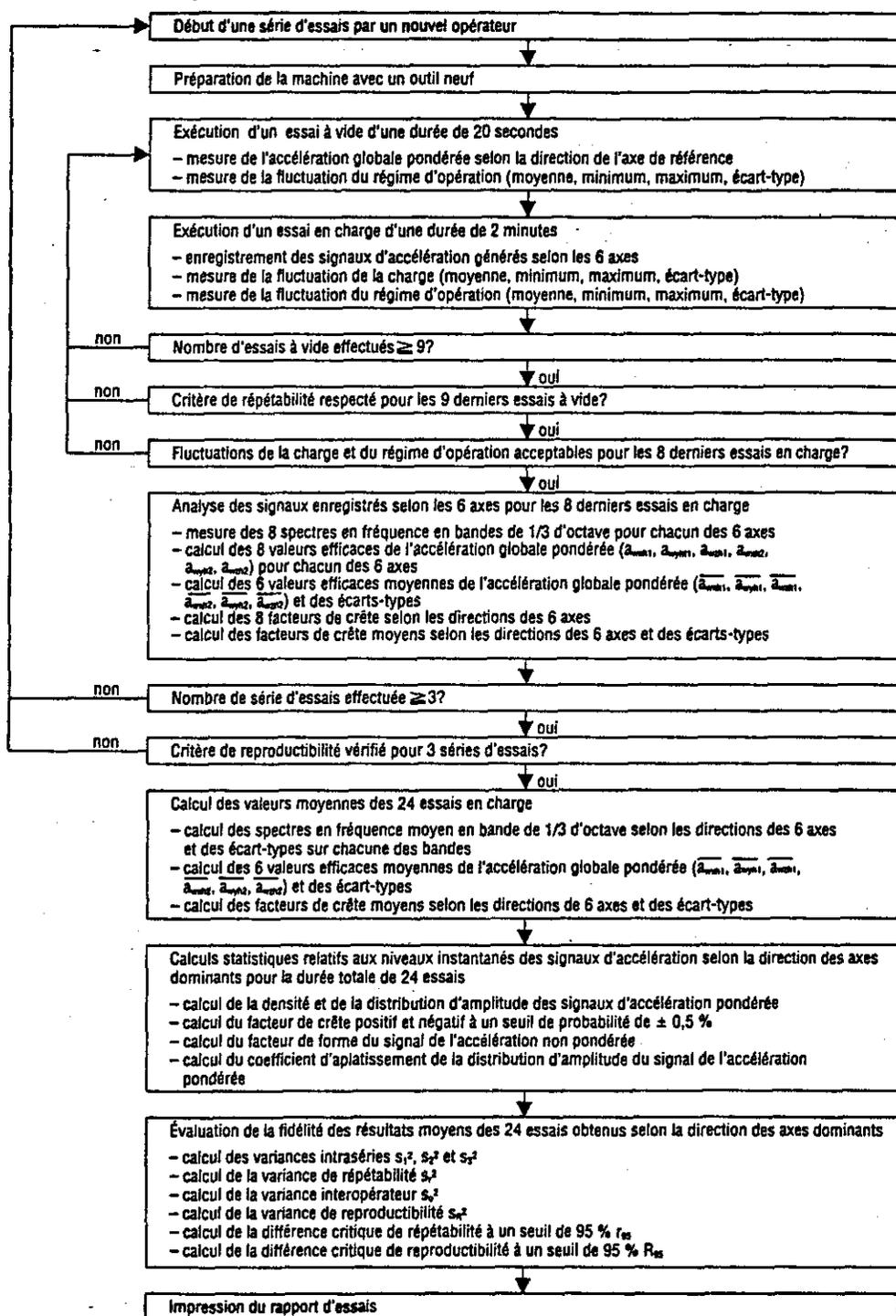


Figure 4 : Sommaire du processus expérimental

5.2 Validation des résultats d'essais

5.2.1 Critère de répétabilité

La répétabilité d'une série d'essais est déterminée pour une succession d'essais à vide et en charge dans des conditions expérimentales identiques où le même opérateur utilise la même machine et le même outil dans une même configuration de travail.

Pour les types de machine visés, les résultats des essais en charge sont considérés valables, au sens de la répétabilité, si l'écart maximal entre les valeurs efficaces de l'accélération globale pondérée mesurées selon la direction de l'axe de référence, au cours des essais à vide, est inférieur ou égal à 3 dB pour une série de 9 essais à vide successifs. Mathématiquement le critère de répétabilité s'exprime, pour 9 essais à vide successifs, comme:

$$20 \log \left[\frac{a_{wxh} \text{ ref. max.}}{a_{wxh} \text{ ref. min.}} \right] \leq 3 \text{ dB}$$

5.2.2 Critère de reproductibilité

La reproductibilité des résultats est déterminée à partir des valeurs efficaces moyennes de l'accélération globale pondérée mesurées selon la direction de l'axe de référence pour chaque série de 8 essais en charge valables effectuée par des opérateurs différents utilisant la même machine, muni à chaque fois d'outils neufs identiques, et opérant dans des configurations de travail semblables.

Pour les types de machine visés, les résultats moyens de chaque série de 8 essais en charge valables au sens de la répétabilité sont considérés valables, au sens de la reproductibilité, si l'écart maximal entre les valeurs efficaces moyennes de l'accélération

Méthode de laboratoires

globale pondérée est inférieur ou égal à 6 dB. Au moins 3 séries de 8 essais en charge valables au sens de la répétabilité, effectuées par 3 opérateurs différents, sont nécessaires pour vérifier le respect de l'application de ce critère.

Mathématiquement le critère de reproductibilité, pour 3 séries de 8 essais en charge, s'exprime comme :

$$20 \log \left[\frac{\overline{a_{wxh}} \text{ ref. max.}}{\overline{a_{wxh}} \text{ ref. min.}} \right] \leq 6 \text{ dB}$$

5.2.3 Traitement statistique des résultats des essais

Un traitement statistique des résultats obtenus au cours des 24 essais en charge valables est effectué pour caractériser la fidélité de la méthode d'essais et le degré de validité des résultats des essais. Ce traitement statistique est effectué conformément aux spécifications de la norme ISO 5725 [12].

Pour faciliter le traitement statistique des résultats d'essais, il est pris comme hypothèse de travail, que chaque groupe complet de résultats obtenus par chaque opérateur différent peut être assimilé à un groupe de résultats qui aurait pu être obtenu par un laboratoire quelconque. Cette supposition est supportée par le fait que la variabilité des résultats qui serait attribuable aux différences entre les appareillages de mesure des différents laboratoires demeure négligeable vis-à-vis des variances qui sont directement attribuables aux capacités et habiletés spécifiques de chaque opérateur à mener sa série d'essais suivant le protocole d'essais établi.

Pour une machine particulière, le traitement statistique des résultats n'est effectué que pour les niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée mesurés selon la direction de l'axe dominant.

Les paramètres statistiques qui sont déterminés, et ultérieurement inclus dans le rapport d'essais, sont définis aux sections 3.9 à 3.14.

6. CONTENU DU RAPPORT D'ESSAIS DE VIBRATION

Chaque rapport d'essais de vibration contient l'ensemble des données se rapportant aux conditions expérimentales de tous les essais et aux résultats des 24 essais en charge ayant satisfaits aux critères de répétabilité et de reproductibilité spécifiés.

Cette dernière section sert de guide pour l'interprétation des résultats d'essais contenus dans l'exemple de rapport présenté en annexe. Celui-ci résulte de l'expérimentation sur une machine possédant 2 poignées.

Ce rapport comprend:

- 1 - la description de la machine et du type d'outil utilisés et la description détaillée du travail effectué et de la méthode de travail utilisée;
- 2 - la spécification des conditions expérimentales;
- 3 - l'expression de différents types de contraintes vibratoires:
 - a) la contrainte vibratoire établie séparément pour chacun des 6 axes, obtenue en effectuant la moyenne arithmétique des 24 valeurs de niveau efficace de l'accélération globale pondérée a_w calculées pour chacun des 6 axes de mesure et pour chacun des 24 essais en charge valables.

Les 6 valeurs des niveaux efficaces moyens de l'accélération globale pondérée a_{wxh1} , a_{wyh1} , a_{wzh1} , a_{wxh2} , a_{wyh2} et a_{wzh2} sont présentées en ms^{-2} et en dB (ref. $1\mu ms^{-2}$) avec leur écart-type exprimé en pourcent;

Méthode de laboratoires

- b) la contrainte vibratoire établie séparément pour chacune des directions, obtenue en effectuant la moyenne arithmétique des 24 valeurs des niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée aw_{xh} , aw_{yh} et aw_{zh} calculées pour chacun des 24 essais en charge valables.

Les valeurs des niveaux efficaces moyens de l'accélération globale pondérée aw_{xh} , aw_{yh} et aw_{zh} sont présentées en ms^{-2} et en dB (réf. $1\mu ms^{-2}$) avec leur écart-type exprimé en pourcent;

- c) la contrainte vibratoire établie séparément pour chacune des poignées, obtenue en effectuant la moyenne arithmétique des 24 valeurs du module des vecteurs sommes ae_{qh1} et ae_{qh2} calculés pour chacun des 2 points de mesures et pour chacun des 24 essais en charge valables.

Les valeurs des niveaux efficaces moyens de l'accélération globale pondérée ae_{qh1} et ae_{qh2} sont présentées en ms^{-2} et en dB (ref. $1\mu ms^{-2}$) avec leur écart-type exprimé en pourcent;

- d) la contrainte vibratoire globale établie pour l'ensemble des poignées, obtenue en effectuant la moyenne arithmétique des 24 valeurs des niveaux efficaces de l'accélération globale pondérée ae_{qh} déterminées pour chacun des 24 essais en charge valables.

La valeur du niveau efficace moyen de l'accélération globale pondérée ae_{qh} est présentée en ms^{-2} et en dB (ref. $1\mu ms^{-2}$) avec son écart-type exprimé en pourcent;

- e) la contrainte vibratoire établie selon la norme ISO 5349 pour l'axe dominant de chacune des poignées avec l'indication de la durée d'exposition, en années, pour laquelle on pourrait estimer, selon l'annexe A de cette norme, que 10% de la population exposée à ce niveau de vibration, pour une durée quotidienne ne dépassant pas 4 heures, serait susceptible de contracter des problèmes dus aux vibrations;

- 4 - les conditions expérimentales (régime d'opération et charge verticale) de tous les essais à vide et en charge effectués par chacun des 3 opérateurs, avec les valeurs minimales et maximales des fluctuations pour chaque essai, ainsi que toutes les mesures individuelles des niveaux (efficace et crête) de vibration de chacun des 6 axes, incluant les valeurs moyennes intraséries et les écart-types sur toutes ces données expérimentales;
- 5 - les fluctuations des paramètres d'essais incluant :
 - a) une présentation graphique de la fluctuation instantanée de la charge sur la durée totale (2 minutes) de l'essai en charge pour lequel l'écart-type sur la fluctuation de la charge s'est avéré le plus élevé parmi l'ensemble des 24 essais en charge valables;
 - b) une présentation graphique de la fluctuation instantanée du régime d'opération sur la durée totale (2 minutes) de l'essai en charge pour lequel l'écart-type sur la fluctuation du régime d'opération s'est avéré le plus élevé parmi l'ensemble des 24 essais en charge valables;
- 6 - les caractéristiques physiques des vibrations générées selon les 3 axes de chacune des poignées incluant :
 - le tableau des valeurs numériques de l'accélération non pondérée de chacune des bandes de fréquence de 1/3 d'octave avec les écart-types calculés pour chacune de ces bandes de fréquence;
 - le spectre d'accélération moyen non pondéré en bandes de fréquence de 1/3 d'octave résultant de la moyenne arithmétique des 24 spectres en fréquence obtenus au cours des 24 essais en charge valables;

Méthode de laboratoires

- la valeur moyenne de l'accélération globale pondérée, pour le spectre en fréquence présenté, avec son écart-type. Cette valeur correspondant à l'une des 6 valeurs données en 3-a;
 - la fréquence centrale de la bande de fréquence de 1/3 d'octave où l'accélération pondérée de cette bande est la plus élevée;
 - le niveau d'accélération de la bande de 1/3 d'octave pondéré maximum;
- 7 - une présentation graphique de la dispersion des niveaux d'accélération globale pondérée pour chacune des 3 séries de 8 essais et pour la combinaison totale des 24 valeurs d'accélération globale pondérée mesurée selon chacun des 6 axes;
- 8 - les indices statistiques qui caractérisent la fidélité des résultats incluant les variances intraséries, la variance de répétabilité, la variance inter-opérateur, la variance de reproductibilité, les différences critiques de répétabilité et de reproductibilité pour l'axe dominant de chacune des 2 poignées;
- 9 - les caractéristiques relatives à la distribution d'amplitude :
- la densité et distribution de probabilité des signaux de vibration générés selon l'axe dominant de chacune des 2 poignées pour la durée totale (48 minutes) des 24 essais;
 - les facteurs de crête (positif et négatif) des signaux d'accélération pondérée à un seuil de probabilité de 0,5%;
 - le coefficient d'aplatissement de la distribution d'amplitude des signaux d'accélération pondérés calculé sur la durée totale (48 minutes) des 24 essais;
 - le facteur de forme des signaux d'accélération non pondérés calculé sur la durée totale (48 minutes) des 24 essais;

- 10 - la présentation graphique d'échantillons de signaux d'accélération non pondérée en fonction du temps, générés selon les axes dominants de chacune des 2 poignées sur une période de 0,1 seconde.

7. FIDÉLITÉ

Le rapport d'essais propre à chaque machine contient (section 8.) un tableau complet rapportant les paramètres précisant la fidélité des résultats d'essais obtenus.

Les paramètres de répétabilité et de reproductibilité des essais et les différences critiques de répétabilité et de reproductibilité des résultats, qui sont contenus dans chaque rapport d'essais particuliers, permettent l'appréciation exacte de la fidélité de chaque groupe de résultats d'essais présentés pour une machine.

Des données plus générales de fidélité pourrait être obtenues dans le cadre d'une campagne d'essais comparatif de plusieurs machines d'un même type soit en fonction du niveau de l'intensité vibratoire, soit en fonction de la puissance ou de la masse des machines, soit en fonction du type d'outil utilisé pour les essais ou de tout autre paramètre caractéristique des machines testées.

8. CONCLUSION

Les directives d'essais énoncées dans le présent document permettent d'obtenir, en un laps de temps relativement court, des résultats de base précis pour la caractérisation physique des vibrations générées par les machines portatives et pour l'estimation du degré de contrainte vibratoire auxquels sont susceptibles d'être exposés les travailleurs ayant à utiliser quotidiennement ces machines.

Méthode de laboratoires

L'obtention de tels résultats permettront d'activer et de faire progresser rapidement la recherche de solutions visant à la réduction de l'exposition des travailleurs.

Dans le cadre d'une étude comparative de plusieurs modèles d'un même type de machine, la diffusion de tels résultats d'essais devrait entre autre avoir pour effet de:

- sensibiliser les fabricants de machines à l'importance à accorder à l'aspect sécurité de leurs produits;
- inciter les fabricants à compétitionner entre eux pour produire des machines les moins vibrantes possibles;
- favoriser, chez les employeurs, la mise sur pied de politique d'achats des seules machines répondant à certaines exigences de sécurité;
- susciter l'intérêt des travailleurs à l'utilisation des machines sécuritaires;
- fournir au législateur québécois (CSST) des données de base permettant l'élaboration de réglementations et de normes d'exposition aux vibrations.

L'expérience qui pourrait être acquise d'une campagne d'essais portant sur un grand nombre de modèles de machines d'un même type permettrait de raffiner la procédure d'essais suggérée et d'améliorer par conséquent la fidélité des résultats des essais.

9. **BIBLIOGRAPHIE**

1. Centre de recherche industrielle du Québec, "Les vibrations engendrées par les outils portatifs. État de la technologie et contexte socio-économique". Rapport DIT-82-113, Sainte-Foy (Québec). Novembre 1982.
2. Boileau, P.-É., Scory, H., Boutin, J., "Exposition aux vibrations mécaniques engendrées par les meuleuses portatives". Rapport Étude/Bilan de connaissance, IRSST, Montréal, Québec. Avril 1988. 29 p.
3. Norme ISO 5349 (1986). "Mechanical vibration. Guideline for the Measurement and the Assessment of Human Exposure to Hand Transmitted Vibration".
4. ACGIH 1987. Hand-arm (segmental) vibration. Dans "Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1987-88". American Conference of Governmental Industrial Hygienists. p. 85-90.
5. Code d'essais PNEUROP 6610 (1983). "Code d'essais pour la mesure des vibrations des meuleuses portatives tenues à la main".
6. Norme française AFNOR E90-320 (1985). "Mesurage, en laboratoire, des vibrations transmises à l'homme par les machines tenues et guidées à la main". Règles générales pour l'élaboration de code d'essais particuliers.
7. Norme expérimentale AFNOR E90-321 (1983). "Code d'essais pour le mesurage, en laboratoire, des vibrations émises par les machines portatives rotatives, à meuler, tronçonner à disque, poncer, lustrer, polir, tenues et guidées à la main".
8. Boileau, P.-É., Scory, H., Turcot, D., "Méthodologie pour évaluer l'exposition des individus aux vibrations mains-bras en milieu de travail". Annexe au rapport de recherche RA-025, IRSST, Montréal, Québec 86p.

Méthode de laboratoires

9. Draft International Standard ISO/DIS 8041 (1987). "Human Response to Vibration. Measuring Instrumentation".
10. Commission Électrotechnique Internationale. Norme de la CEI. Publication 804 "Sonomètres intégrateurs-moyenneurs". (1985)
11. IRSST. Méthode de laboratoire 15A. "Méthode d'étalonnage des accéléromètres - Étalonnage absolu et par comparaison dos à dos". (1987)
12. Norme ISO 5725 (1987). "Application de la statistique - Fidélité des méthodes d'essai".

ANNEXE

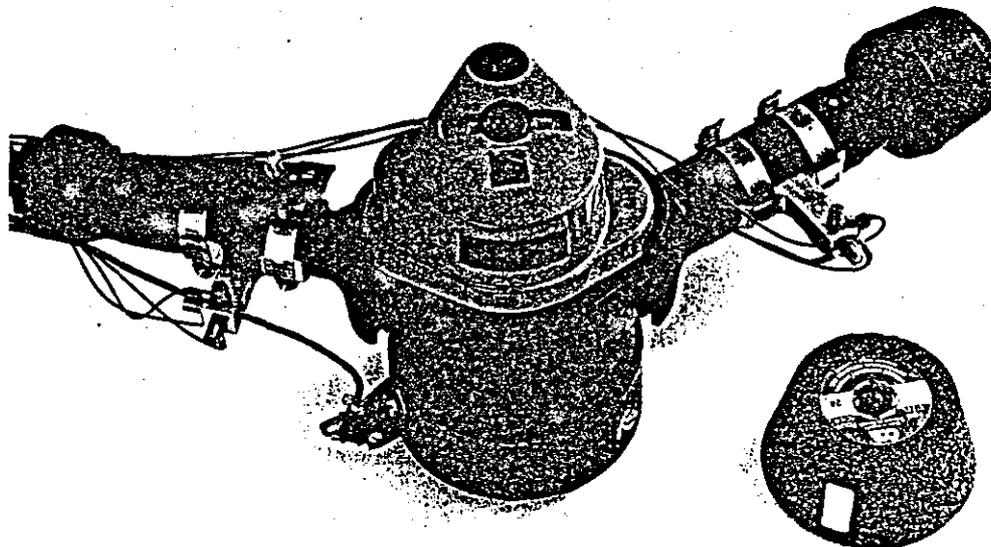
ANNEXE

RAPPORT D'ESSAIS DE VIBRATION

Catégorie de machine: Meuleuse pneumatique à axe vertical

du rapport: 87.31.25-01

Date des essais: 88/12/28



Machine instrumentée

Description du travail effectué lors des essais en charge

Un opérateur expérimenté effectue le ponçage d'une pièce d'acier doux dont la surface de travail est plane et dont les dimensions sont de 20mm x 400mm x 500mm. La surface 400 mm x 500 mm constitue la surface de travail. La dimension la plus élevée est orientée latéralement par rapport à l'opérateur.

L'opération de ponçage est effectuée par des mouvements latéraux réguliers de va-et-vient jusqu'à environ 5 cm de chaque côté de la plaque d'acier. Chaque cycle complet de va-et-vient dure environ 2 secondes.

Durant l'essai en charge, la meuleuse est maintenue légèrement inclinée afin qu'un seul côté de la surface de la base de la meule soit en contact avec la surface d'acier. L'opérateur fournit une charge verticale constante afin de maintenir, autant que faire se peut, la vitesse de rotation de la machine à 80% de la vitesse de rotation nominale à vide spécifiée par le fabricant.

1. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA MACHINE ET DE L'OUTIL EXPERIMENTES

Machine.....: Meuleuse (pneum.)	Outil.....: Boisseau conique
Fabricant...: xxxxxxxxx	Fabricant...: xxxxxxxxx
Modèle.....: xxxxxxxxx	Modèle.....: xxxxxxxxx
Type.....: Axe vertical	Granulométrie.: 24
# de série...: xxxxxxxxx	Diamètre max...: 102 cm
Masse.....: 3,0 kg	Hauteur.....: 51 cm
Révolution nominale.: 6000 RPM	Masse.....: 0,67 kg
Puissance...: 1,5 kW	

2. CONDITIONS D'APPLICATION DES 24 ESSAIS

Durée totale d'intégration.: 48 minutes
 Alimentation.....: 6,3 bar
 Révolution moyenne.....: 5433 RPM ± 1 %
 Charge verticale moyenne...: 41 N ± 6 %

3. RESULTATS MOYENS DES 24 ESSAIS

a-) Contraintes vibratoires évaluées selon chacun des axes

Poignée droite

Poignée gauche

awxh1: 6,36 ms ⁻² ± 14 % (136,1 dB)	awxh2: 3,88 ms ⁻² ± 12 % (131,8 dB)
awyh1: 1,29 ms ⁻² ± 16 % (122,2 dB)	awyh2: 1,55 ms ⁻² ± 12 % (123,8 dB)
awzh1: 1,15 ms ⁻² ± 22 % (121,2 dB)	awzh2: 0,88 ms ⁻² ± 23 % (118,9 dB)

b-) Contraintes vibratoires évaluées selon chacune des directions

awxh : 5,27 ms⁻² ± 13 % (134,4 dB)
 awyh : 1,43 ms⁻² ± 12 % (123,1 dB)
 awzh : 1,03 ms⁻² ± 19 % (120,3 dB)

c-) Contraintes vibratoires globales évaluées pour chacune des 2 poignées

Poignée droite

Poignée gauche

aeqh1: 6,60 ms⁻² ± 14 % (136,4 dB) aeqh2: 4,28 ms⁻² ± 11 % (132,6 dB)

d-) Contrainte vibratoire globale évaluée pour l'ensemble des 2 poignées

aeqh : 5,56 ms⁻² ± 13 % (134,9 dB)

e-) Contraintes vibratoires évaluées selon la norme ISO 5349 pour chacune des 2 poignées

(Temps d'exposition estimé avant l'apparition de symptôme chez 10 % de la population pour une utilisation quotidienne régulière de 4 heures.)

Poignée droite

Poignée gauche

Axe dominant: xh1
 Durée d'exposition: 4,7 années

Axe dominant: xh2
 Durée d'exposition: 7,7 années

4. RESULTATS COMPLETS DES TROIS SERIES D'ESSAIS

a-) Résultats des essais de la série # 1

Conditions des essais à vide

No de l'essai	auxh2 (ns-2)	Révolution (RPM)		
		noyenne	minimum	maximum
1	5,27	5777 ± 25	5775	5822
2	5,57	5605 ± 28	5793	5855
3	5,65	5787 ± 23	5777	5830
4	5,64	5805 ± 23	5808	5842
5	5,91	5783 ± 31	5775	5851
6	5,84	5801 ± 23	5807	5845
7	5,85	5771 ± 21	5783	5803
8	6,13	5778 ± 24	5779	5820
9	6,48	5787 ± 22	5796	5823
Moyenne	5,82 ± 6 %	5788 ± 0 %	5788 ± 0 %	5832 ± 0 %

Conditions des essais en charge

No de l'essai	Révolution (RPM)			Charge verticale (N)		
	noyenne	minimum	maximum	noyenne	minimum	maximum
1	5368 ± 500	4523	16146	43 ± 2	40	48
2	5421 ± 751	3043	21083	43 ± 4	37	49
3	5386 ± 341	5254	11769	45 ± 1	42	49
4	5397 ± 308	5278	12583	45 ± 1	42	48
5	5406 ± 239	4595	10883	40 ± 2	36	45
6	5399 ± 34	5312	5491	42 ± 2	39	46
7	5435 ± 231	5320	10796	40 ± 2	34	43
8	5402 ± 465	5240	15170	43 ± 2	39	47
Moyenne	5402 ± 0 %	4821 ± 16 %	12590 ± 35 %	43 ± 4 %	39 ± 7 %	47 ± 5 %

Résultats des essais en charge

No de l'essai	Valeur efficace des accélérations pondérées (ns-2)											
	auxh1	auxh2	auxh	auxh1	auxh2	auxh	auxh1	auxh2	auxh	aeqh1	aeqh2	aeqh
1	7,15	3,56	5,65	1,73	1,80	1,77	0,98	0,92	0,95	7,43	4,09	6,00
2	5,95	3,75	4,97	1,40	1,49	1,45	0,89	0,79	0,84	6,18	4,11	5,25
3	7,03	4,20	5,79	1,66	1,74	1,70	1,18	0,80	1,01	7,32	4,61	6,12
4	6,22	4,06	5,25	1,47	1,46	1,47	0,88	0,94	0,91	6,45	4,42	5,53
5	6,26	3,65	5,12	1,48	1,68	1,58	0,93	0,73	0,84	6,50	4,08	5,43
6	6,36	3,79	5,24	1,42	1,47	1,44	0,86	0,87	0,86	6,57	4,15	5,50
7	5,06	3,40	4,31	1,28	1,42	1,35	0,75	0,83	0,79	5,27	3,78	4,59
8	5,65	3,14	4,57	1,40	1,55	1,48	0,87	0,79	0,83	5,89	3,59	4,88
Moyenne	6,21 ± 11 %	3,69 ± 9 %	5,11 ± 10 %	1,48 ± 10 %	1,58 ± 9 %	1,53 ± 9 %	0,92 ± 14 %	0,83 ± 8 %	0,88 ± 8 %	6,45 ± 11 %	4,10 ± 8 %	5,41 ± 10 %

No de l'essai	Facteur de crête					
	auxh1	auxh2	auxh1	auxh2	auxh1	auxh2
1	2,9	2,7	2,3	2,5	2,7	3,1
2	2,8	2,9	2,6	3,0	3,3	3,0
3	3,4	2,6	3,0	2,5		2,7
4	2,6	2,5	2,4	2,8	3,0	2,7
5	4,9	3,0	3,4	3,3		4,9
6	5,8	2,2	2,6	2,9	3,1	2,7
7	3,6	3,0	2,6	2,9	3,1	3,0
8	2,4	3,2	2,2	2,4	2,6	4,1
Moyenne	3,6 ± 34 %	2,8 ± 12 %	2,6 ± 15 %	2,8 ± 11 %	2,9 ± 8 %	3,3 ± 25 %

b-) Résultats des essais de la série # 2

Conditions des essais à vide

No de l'essai	auxh2 (ns-2)	Révolution (RPM)		
		noyenne	minimum	maximum
1	5,41	5751 ± 22	5756	5786
2	5,71	5787 ± 25	5786	5836
3	5,65	5774 ± 23	5780	5821
4	5,52	5771 ± 22	5774	5808
5	5,54	5752 ± 23	5750	5786
6	5,53	5756 ± 23	5759	5794
7	5,48	5740 ± 22	5749	5790
8	5,53	5755 ± 23	5760	5796
9	5,60	5755 ± 22	5762	5793
Moyenne	5,55 ± 2 %	5760 ± 0 %	5764 ± 0 %	5801 ± 0 %

Conditions des essais en charge

No de l'essai	Révolution (RPM)			Charge verticale (N)		
	noyenne	minimum	maximum	noyenne	minimum	maximum
1	5453 ± 58	4726	5595	38 ± 2	34	43
2	5422 ± 44	5329	5548	44 ± 2	39	49
3	5439 ± 284	5092	12059	41 ± 2	37	46
4	5444 ± 543	3005	18008	41 ± 2	36	46
5	5427 ± 43	5320	5563	39 ± 1	37	44
6	5438 ± 53	5047	5644	39 ± 3	33	46
7	5472 ± 549	5321	18393	39 ± 2	34	45
8	5455 ± 42	5359	5578	35 ± 2	31	38
Moyenne	5444 ± 0 %	4900 ± 16 %	9549 ± 61 %	39 ± 6 %	35 ± 7 %	44 ± 7 %

Résultats des essais en charge

No de l'essai	Valeur efficace des accélérations pondérées (ns-2)											
	auxh1	auxh2	auxh	auxh1	auxh2	auxh	auxh1	auxh2	auxh	aeqh1	aeqh2	aeqh
1	5,82	3,88	4,94	1,14	1,53	1,35	1,04	0,72	0,90	6,02	4,23	5,20
2	5,82	3,70	4,87	1,19	1,63	1,43	1,12	0,63	0,91	6,04	4,09	5,16
3	7,10	3,97	5,75	1,31	1,71	1,53	1,32	0,75	1,07	7,34	4,39	6,05
4	7,81	4,28	5,81	1,25	1,60	1,43	1,41	0,78	1,14	7,26	4,63	6,09
5	7,62	4,13	6,13	1,39	1,67	1,53	1,38	0,86	1,15	7,86	4,54	6,42
6	7,36	4,87	6,24	1,25	1,50	1,38	1,30	0,83	1,09	7,58	5,16	6,48
7	5,39	4,24	4,85	0,95	1,27	1,12	1,05	0,71	0,90	5,57	4,48	5,05
8	6,25	3,63	5,11	1,30	1,64	1,48	1,03	0,78	0,92	6,47	4,06	5,40
Moyenne	6,54 ± 13 %	4,09 ± 10 %	5,46 ± 11 %	1,22 ± 11 %	1,57 ± 9 %	1,41 ± 9 %	1,21 ± 13 %	0,76 ± 10 %	1,01 ± 11 %	6,77 ± 13 %	4,45 ± 8 %	5,73 ± 10 %

No de l'essai	Facteur de crête					
	auxh1	auxh2	auxh1	auxh2	auxh1	auxh2
1	3,4	2,8	3,5	2,5	4,3	5,2
2	2,3	2,5	2,4	2,3	2,3	3,1
3	2,8	2,3	2,5	3,1	2,7	4,4
4	2,3	2,1	2,9	2,2	2,3	
5	2,4	2,1	2,6	2,5	2,4	2,7
6	6,1	1,9	3,1	2,3	3,7	3,2
7	3,7	2,2	4,5	2,8	2,9	5,6
8	2,8	2,4	3,3	2,5	4,7	4,2
Moyenne	3,2 ± 39 %	2,3 ± 12 %	3,1 ± 22 %	2,5 ± 12 %	3,2 ± 30 %	4,0 ± 27 %

c-) Résultats des essais de la série # 3

Conditions des essais à vide

No de l'essai	auxh2 (ns-2)	Révolution (RPM)		
		noyenne	minimum	maximum
1	5,72	5769 ± 22	5764	5810
2	6,11	5803 ± 21	5810	5833
3	5,47	5760 ± 22	5768	5792
4	5,67	5749 ± 25	5739	5795
5	5,88	5731 ± 23	5738	5778
6	6,20	5764 ± 22	5766	5803
7	5,94	5734 ± 22	5741	5768
8	5,92	5776 ± 26	5773	5827
9	5,61	5746 ± 22	5754	5781
Moyenne	5,81 ± 4 %	5759 ± 0 %	5762 ± 0 %	5798 ± 0 %

Conditions des essais en charge

No de l'essai	Révolution (RPM)			Charge verticale (N)		
	noyenne	minimum	maximum	noyenne	minimum	maximum
1	5427 ± 343	5290	11816	45 ± 3	40	50
2	5474 ± 574	4823	17137	41 ± 2	37	46
3	5446 ± 42	5279	5576	41 ± 1	37	46
4	5495 ± 477	5298	16682	36 ± 3	30	46
5	5422 ± 217	1461	8490	40 ± 2	35	44
6	5487 ± 595	4907	18048	38 ± 2	20	42
7	5427 ± 106	3827	5624	40 ± 3	30	46
8	5439 ± 276	4366	10090	40 ± 2	37	45
Moyenne	5452 ± 1 %	4406 ± 29 %	11683 ± 41 %	40 ± 6 %	33 ± 20 %	46 ± 5 %

Résultats des essais en charge

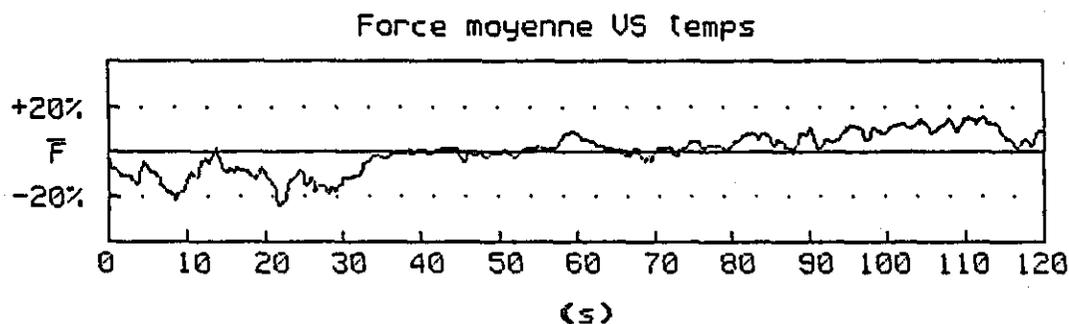
No de l'essai	Valeur efficace des accélérations pondérées (ns-2)											
	auxh1	auxh2	auxh	awyh1	awyh2	awyh	awzh1	awzh2	awzh	aeqh1	aeqh2	aeqh
1	4,73	3,06	3,98	0,91	1,54	1,27	1,11	0,52	0,87	4,94	3,46	4,27
2	7,09	4,03	5,76	1,20	1,70	1,47	1,60	1,01	1,34	7,37	4,49	6,10
3	6,28	3,81	5,19	1,04	1,27	1,16	1,43	1,08	1,27	6,52	4,16	5,47
4	5,80	3,21	4,69	1,11	1,30	1,21	1,24	1,06	1,15	6,03	3,62	4,97
5	6,33	3,42	5,09	1,27	1,63	1,46	1,32	1,09	1,21	6,59	3,94	5,43
6	6,13	4,23	5,26	1,16	1,28	1,22	1,09	1,18	1,14	6,33	4,57	5,52
7	8,79	4,99	7,15	1,62	1,95	1,79	1,74	1,48	1,62	9,11	5,56	7,55
8	5,43	4,10	4,81	1,08	1,35	1,22	1,13	1,00	1,06	5,65	4,43	5,08
Moyenne	6,32 ± 19 %	3,86 ± 16 %	5,24 ± 18 %	1,17 ± 18 %	1,50 ± 16 %	1,35 ± 16 %	1,33 ± 18 %	1,05 ± 25 %	1,21 ± 18 %	6,57 ± 19 %	4,28 ± 15 %	5,55 ± 17 %

No de l'essai	Facteur de crête					
	auxh1	auxh2	awyh1	awyh2	awzh1	awzh2
1	2,8	3,5	2,9	2,2		6,8
2	3,8	2,9	3,1	2,9	2,9	3,0
3	3,3	2,9	3,9	3,8	3,1	3,2
4		3,6	3,4	3,4	3,3	4,0
5	3,3	2,6	2,5	2,4	3,0	2,6
6	3,7	3,3	3,2	4,0	4,4	3,4
7	2,6	2,6	2,7	2,5	2,6	2,5
8	2,5	2,4	2,8	2,6	2,7	
Moyenne	3,1 ± 16 %	3,0 ± 15 %	3,1 ± 15 %	3,0 ± 22 %	3,1 ± 19 %	3,1 ± 18 %

5. FLUCTUATION MAXIMALE DE CERTAINS PARAMETRES D'ESSAIS

a-) Fluctuation maximale de la charge verticale instantanée observée au cours de l'un des 24 essais en charge

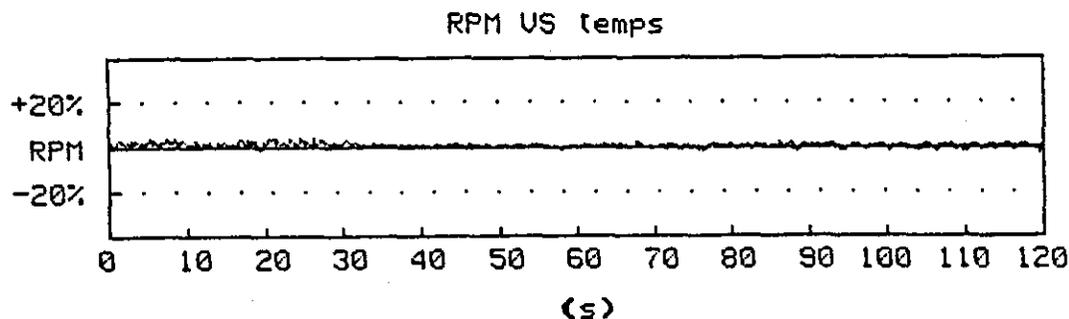
(série n°: 3 - essai n°: 7)



valeur moyenne:	39,9 N	valeur maximum:	46,1 N	(+15 %)
écart type.....:	9 %	valeur minimum:	30,4 N	(-24 %)

b-) Fluctuation maximale de la vitesse de rotation instantanée observée au cours de l'un des 24 essais en charge

(série n°: 3 - essai n°: 7)



valeur moyenne:	5426 RPM	valeur maximum:	5624 RPM	(+ 4 %)
écart type.....:	2 %	valeur minimum:	_____ RPM	(- _ %)

6. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES VIBRATIONS GENEREES SELON CHACUN DES 6 AXES DE MESURE

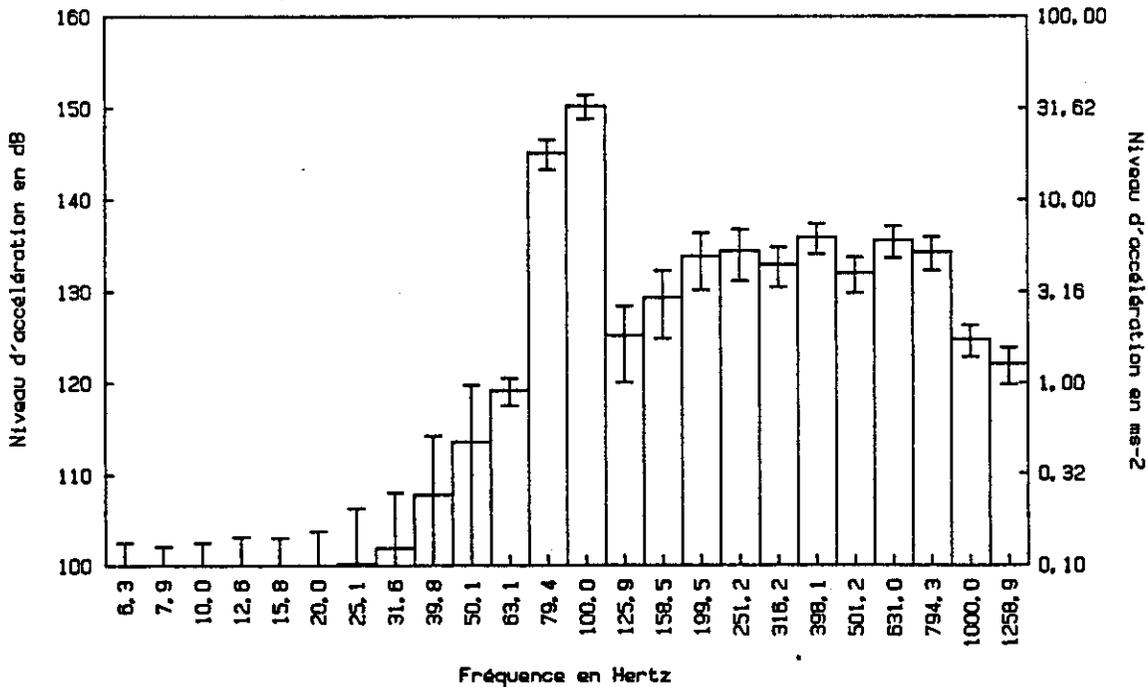
a-) Axe: xh1

Niveaux efficaces de l'accélération non pondérée en bandes de fréquence de 1/3 d'octave

Fréquence (Hz)	Axh1 (dB)	Ecart type (ms-2)	Fréquence (Hz)	Axh1 (dB)	Ecart type (ms-2)
6,3	98,6	0,09 ± 0,05	100,0	150,2	32,50 ± 4,77
7,9	97,8	0,08 ± 0,05	125,9	125,2	1,83 ± 0,82
10,0	98,1	0,08 ± 0,05	158,5	129,4	2,94 ± 1,18
12,6	98,3	0,08 ± 0,06	199,5	133,9	4,93 ± 1,69
15,8	97,4	0,07 ± 0,07	251,2	134,5	5,28 ± 1,64
20,0	97,8	0,08 ± 0,08	316,2	133,0	4,46 ± 1,09
25,1	100,1	0,10 ± 0,10	398,1	135,9	6,27 ± 1,16
31,6	101,8	0,12 ± 0,13	501,2	132,1	4,02 ± 0,89
39,8	107,7	0,24 ± 0,27	631,0	135,6	6,04 ± 1,18
50,1	113,5	0,47 ± 0,50	794,3	134,4	5,23 ± 1,08
63,1	119,2	0,91 ± 0,15	1000,0	124,8	1,74 ± 0,34
79,4	145,1	18,02 ± 3,29	1258,9	122,1	1,28 ± 0,29

(dB réf. 1 μs^{-2})

Spectre moyen de l'accélération non pondérée en bandes de fréquence de 1/3 d'octave



awxh1.....: 6,36 ms-2 ± 14 % (136,1 dB)

Fréquence dominante.: 100 Hz

Awxh1,max.: 5,15 ms-2 ± 15 % (134,2 dB)

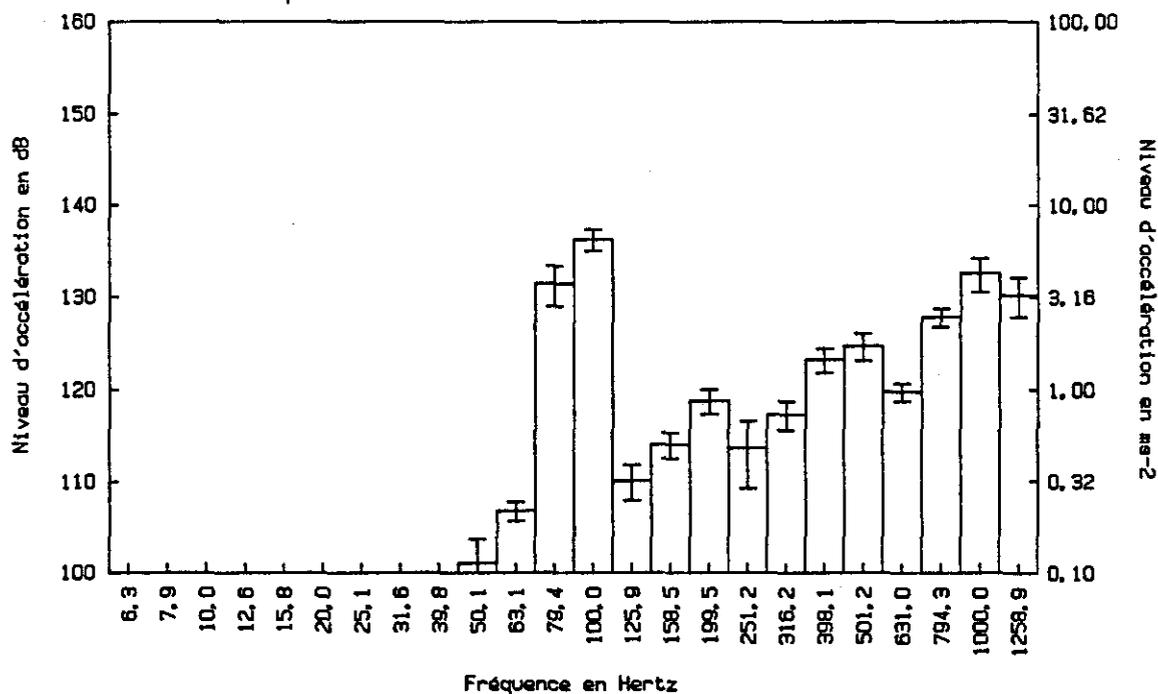
b-) Axe: yh1

Niveaux efficaces de l'accélération non pondérée
en bandes de fréquence de 1/3 d'octave

Fréquence (Hz)	Ayh1 (dB)	(ms ⁻²)	Ecart type (ms ⁻²)	Fréquence (Hz)	Ayh1 (dB)	(ms ⁻²)	Ecart type (ms ⁻²)
6,3	93,5	0,05	± 0,02	100,0	136,3	6,51	± 0,86
7,9	91,6	0,04	± 0,01	125,9	110,1	0,32	± 0,07
10,0	90,9	0,04	± 0,01	158,5	114,1	0,51	± 0,08
12,6	90,4	0,03	± 0,01	199,5	118,8	0,87	± 0,13
15,8	88,6	0,03	± 0,01	251,2	113,7	0,49	± 0,20
20,0	87,7	0,02	± 0,00	316,2	117,4	0,74	± 0,13
25,1	89,4	0,03	± 0,01	398,1	123,2	1,45	± 0,22
31,6	91,2	0,04	± 0,01	501,2	124,7	1,72	± 0,28
39,8	95,3	0,06	± 0,03	631,0	119,8	0,98	± 0,10
50,1	101,0	0,11	± 0,04	794,3	127,8	2,45	± 0,28
63,1	106,7	0,22	± 0,03	1000,0	132,6	4,26	± 0,88
79,4	131,5	3,74	± 0,92	1258,9	130,2	3,25	± 0,79

(dB réf: 1 um s-2)

Spectre moyen de l'accélération non pondérée en bandes de fréquence de 1/3 d'octave



awayh1.....: 1,29 ms-2 ± 16 % (122,2 dB)
Fréquence dominante.: 100 Hz

Awyh1,max.: 1,03 ms-2 ± 13 % (120,3 dB)

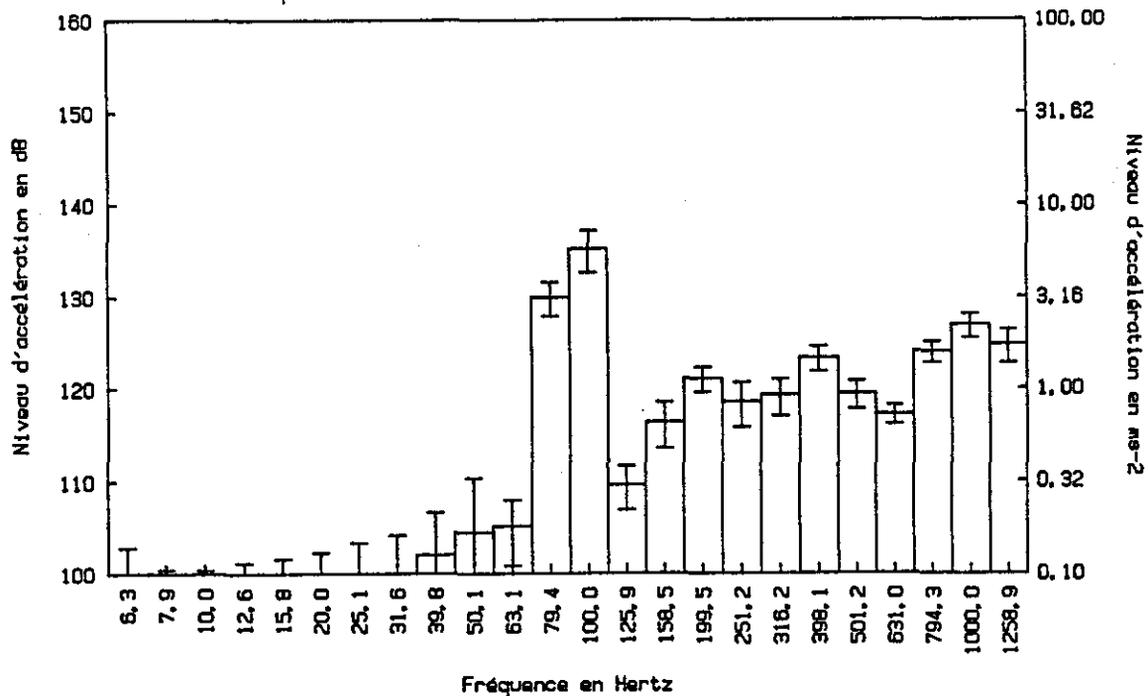
c-) Axe: zhi

Niveaux efficaces de l'accélération non pondérée
en bandes de fréquence de 1/3 d'octave

Fréquence (Hz)	Azhi (dB)	Ecart type (ms ⁻²)	Fréquence (Hz)	Azhi (dB)	Ecart type (ms ⁻²)
6,3	98,2	0,08 ± 0,06	100,0	135,2	5,77 ± 1,48
7,9	97,0	0,07 ± 0,03	125,9	109,6	0,30 ± 0,08
10,0	97,0	0,07 ± 0,03	158,5	116,4	0,66 ± 0,18
12,6	97,5	0,08 ± 0,04	199,5	121,1	1,13 ± 0,17
15,8	97,8	0,08 ± 0,04	251,2	118,6	0,85 ± 0,23
20,0	98,2	0,08 ± 0,05	316,2	119,3	0,92 ± 0,20
25,1	99,2	0,09 ± 0,06	398,1	123,3	1,46 ± 0,23
31,6	100,0	0,10 ± 0,06	501,2	119,4	0,94 ± 0,16
39,8	102,0	0,13 ± 0,09	631,0	117,2	0,73 ± 0,08
50,1	104,4	0,17 ± 0,16	794,3	124,0	1,58 ± 0,20
63,1	105,1	0,18 ± 0,07	1000,0	126,9	2,22 ± 0,34
79,4	129,9	3,14 ± 0,65	1258,9	124,8	1,73 ± 0,36

(dB réf. 1 ms⁻²)

Spectre moyen de l'accélération non pondérée en bandes de fréquence de 1/3 d'octave



awzhi.....: 1,15 ms⁻² ± 22 % (121,2 dB)
Fréquence dominante.: 100 Hz

Awzhi,max.: 0,91 ms⁻² ± 26 % (119,2 dB)

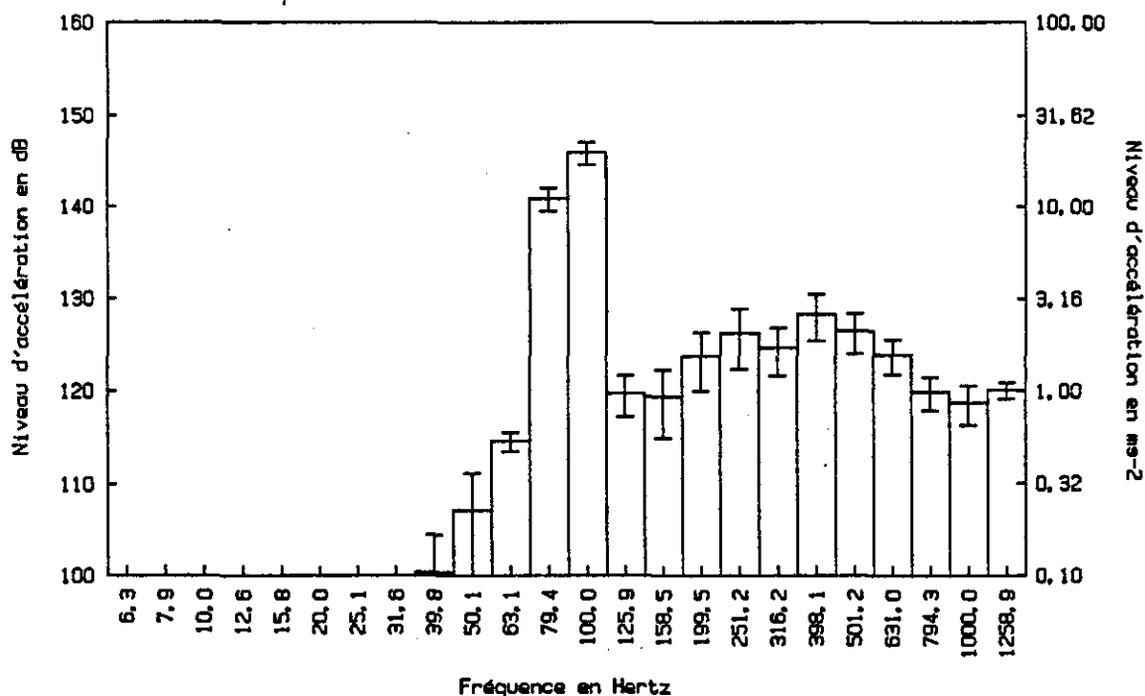
d-) Axe: xh2

Niveaux efficaces de l'accélération non pondérée
en bandes de fréquence de 1/3 d'octave

Fréquence	Axh2		Ecart type	Fréquence	Axh2		Ecart type
(Hz)	(dB)	(ms ⁻²)	(ms ⁻²)	(Hz)	(dB)	(ms ⁻²)	(ms ⁻²)
6,3	90,8	0,03	± 0,01	100,0	146,0	19,90	± 2,81
7,9	91,4	0,04	± 0,00	125,9	119,7	0,97	± 0,24
10,0	93,2	0,05	± 0,02	158,5	119,4	0,93	± 0,37
12,6	92,7	0,04	± 0,02	199,5	123,8	1,54	± 0,54
15,8	90,2	0,03	± 0,01	251,2	126,3	2,06	± 0,74
20,0	90,2	0,03	± 0,01	316,2	124,7	1,71	± 0,50
25,1	91,8	0,04	± 0,01	398,1	128,3	2,61	± 0,74
31,6	94,6	0,05	± 0,02	501,2	126,5	2,12	± 0,53
39,8	100,3	0,10	± 0,06	631,0	123,9	1,57	± 0,33
50,1	107,1	0,23	± 0,14	794,3	119,9	0,99	± 0,20
63,1	114,6	0,54	± 0,06	1000,0	118,7	0,87	± 0,21
79,4	140,9	1,09	± 1,50	1258,9	120,1	1,01	± 0,10

(dB réf. 1 um^{s-2})

Spectre moyen de l'accélération non pondérée en bandes
de fréquence de 1/3 d'octave



awxh2.....: 3,88 ms⁻² ± 12 % (131,8 dB)

Fréquence dominante.: 100 Hz

Awxh2,max.: 3,15 ms⁻² ± 14 % (130,0 dB)

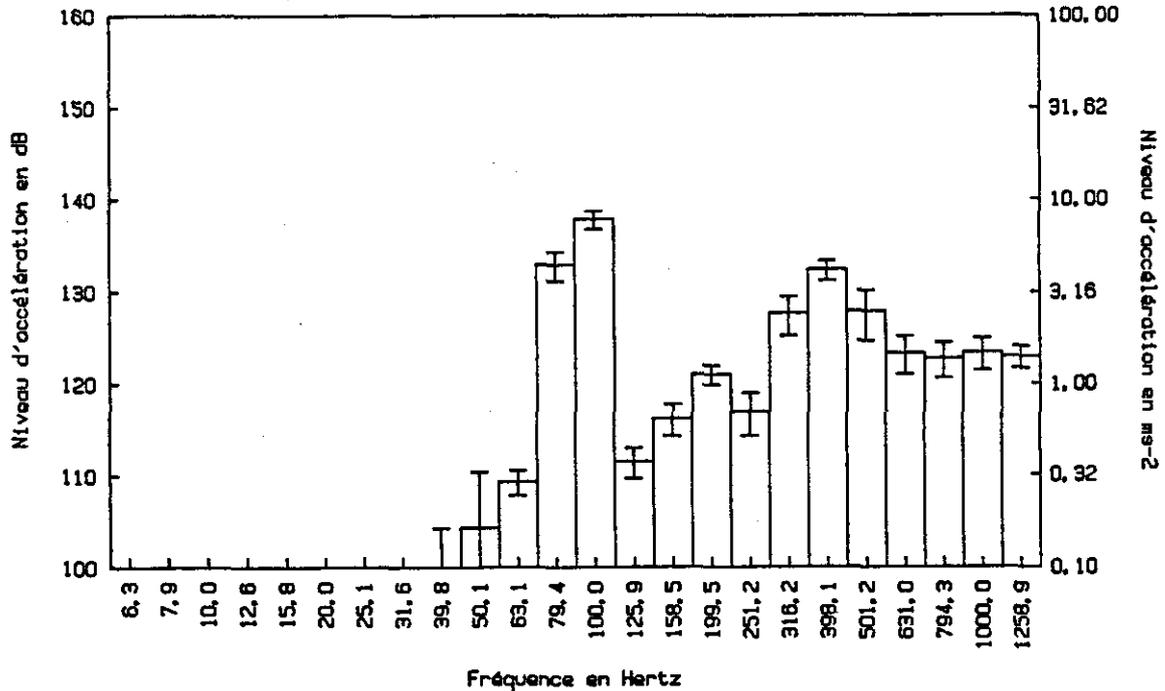
e-) Axe: yh2

Niveaux efficaces de l'accélération non pondérée
en bandes de fréquence de 1/3 d'octave

Fréquence (Hz)	Ayh2 (dB)	(ms ⁻²)	Ecart type (ms ⁻²)	Fréquence (Hz)	Ayh2 (dB)	(ms ⁻²)	Ecart type (ms ⁻²)
6,3	90,7	0,03	± 0,01	100,0	137,8	7,80	± 0,86
7,9	89,6	0,03	± 0,01	125,9	111,5	0,38	± 0,07
10,0	89,5	0,03	± 0,01	158,5	116,2	0,55	± 0,13
12,6	89,9	0,03	± 0,01	199,5	121,0	1,12	± 0,13
15,8	87,5	0,02	± 0,01	251,2	117,0	0,71	± 0,18
20,0	87,3	0,02	± 0,00	316,2	127,6	2,40	± 0,59
25,1	89,6	0,03	± 0,01	398,1	132,4	4,15	± 0,49
31,6	93,2	0,05	± 0,01	501,2	127,8	2,47	± 0,76
39,8	99,2	0,09	± 0,07	631,0	123,3	1,46	± 0,34
50,1	104,3	0,16	± 0,17	794,3	122,7	1,37	± 0,30
63,1	109,3	0,29	± 0,05	1000,0	123,4	1,47	± 0,29
79,4	132,9	4,41	± 0,78	1258,9	123,0	1,41	± 0,19

(dB réf. 1 um^{s-2})

Spectre moyen de l'accélération non pondérée en bandes
de fréquence de 1/3 d'octave



awyh2.....: 1,55 ms⁻² ± 12 % (123,8 dB)
Fréquence dominante.: 100 Hz

Awyh2,max.: 1,24 ms⁻² ± 11 % (121,8 dB)

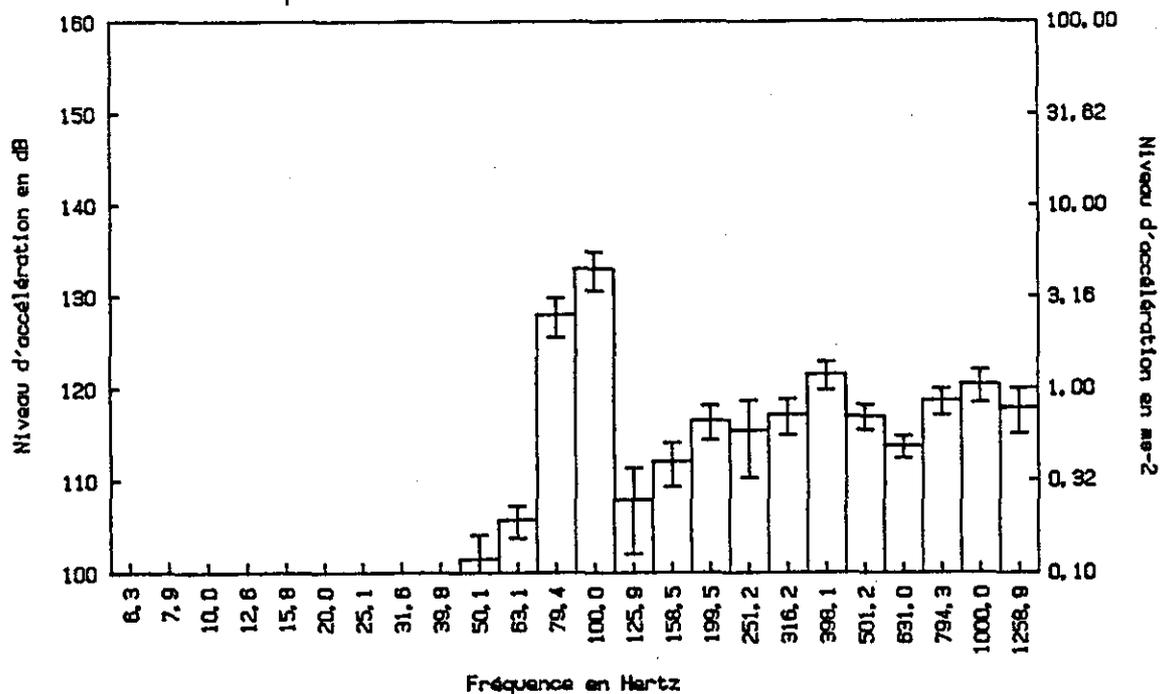
f-) Axe: zh2

Niveaux efficaces de l'accélération non pondérée
en bandes de fréquence de 1/3 d'octave

Fréquence	Azh2	Ecart type	Fréquence	Azh2	Ecart type
(Hz)	(dB)	(ms-2)	(Hz)	(dB)	(ms-2)
6,3	90,2	0,03 ± 0,01	100,0	133,0	4,46 ± 1,08
7,9	89,7	0,03 ± 0,01	125,9	107,9	0,25 ± 0,12
10,0	89,9	0,03 ± 0,01	158,5	112,0	0,40 ± 0,11
12,6	90,8	0,03 ± 0,01	199,5	116,5	0,67 ± 0,14
15,8	89,4	0,03 ± 0,01	251,2	115,5	0,59 ± 0,27
20,0	88,5	0,03 ± 0,00	316,2	117,1	0,72 ± 0,16
25,1	89,9	0,03 ± 0,00	398,1	121,5	1,19 ± 0,21
31,6	91,9	0,04 ± 0,01	501,2	116,9	0,70 ± 0,11
39,8	94,8	0,06 ± 0,02	631,0	113,7	0,49 ± 0,07
50,1	101,5	0,12 ± 0,04	794,3	118,7	0,86 ± 0,14
63,1	105,6	0,19 ± 0,04	1000,0	120,4	1,05 ± 0,21
79,4	127,9	2,49 ± 0,60	1258,9	117,9	0,79 ± 0,22

(dB réf. 1 um s-2)

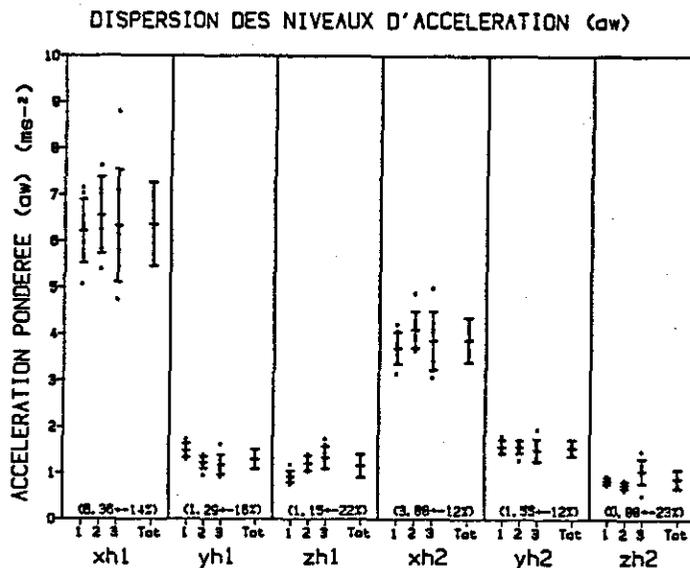
Spectre moyen de l'accélération non pondérée en bandes
de fréquence de 1/3 d'octave



awzh2.....: 0,88 ms-2 ± 23 % (118,9 dB)
Fréquence dominante.: 100 Hz

Awzh2,max.: 0,71 ms-2 ± 24 % (117,0 dB)

7. DISPERSION DES NIVEAUX D'ACCELERATION GLOBALE PONDREEE (aw) PRESENTEE POUR CHACUNE DES 3 SERIES DE 8 ESSAIS ET POUR LA COMBINAISON TOTALE DES 24 VALEURS (aw) MESUREES SELON CHACUN DES 6 AXES



8. FIDELITE DES MESURES DES ACCELERATIONS GLOBALES PONDREES (aw) GENEREES SELON L'AXE DOMINANT (xh1 et xh2) DE CHACUNE DES 2 POIGNEES AU COURS DES 24 ESSAIS

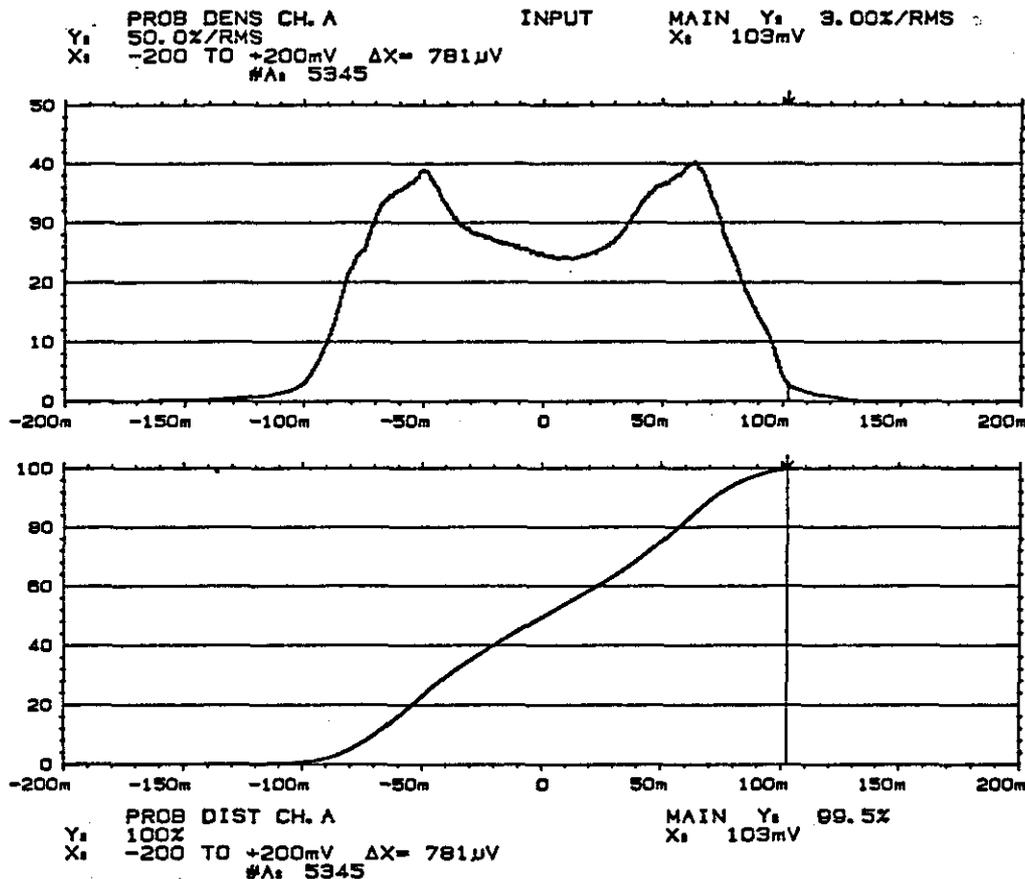
		Poignée droite	Poignée gauche
Niveau efficace moyen des 24 essais	aw _{xh}	6,359 ms ⁻²	3,870 ms ⁻²
Variances intraséries	s ₁ ²	0,469	0,116
	s ₂ ²	0,688	0,155
	s ₃ ²	1,475	0,394
Variance de répétabilité	s _r ²	0,877	0,222
Variance interopérateur	s _o ²	0,0 *	0,011
Variance de reproductibilité	s _R ²	0,877	0,233
Différence critique de répétabilité (à un seuil de 95 %)	r ₉₅	2,45 ms ⁻²	0,62 ms ⁻²
Différence critique de reproductibilité R ₉₅ (à un seuil de 95 %)		2,45 ms ⁻²	1,35 ms ⁻²

* (valeur négative corrigée)

9. CARACTERISTIQUES RELATIVES A LA DISTRIBUTION D'AMPLITUDE DES SIGNAUX DE VIBRATION GENERES SELON L'AXE DOMINANT (xh1 et xh2) DE CHACUNE DES 2 POIGNEES POUR LA DUREE TOTALE DES 24 ESSAIS

a-) Poignée droite
 Axe dominant: xh1

1-) Courbes de densité et de distribution de probabilité du signal d'accélération pondéré



2-) Facteur de crête du signal d'accélération pondéré

Fc(+) au seuil de probabilité de 0,5 %: 2,04 (6,2 dB)
 Fc(-) au seuil de probabilité de 0,5 %: 2,16 (6.7 dB)

3-) Coefficient d'aplatissement de la distribution d'amplitude du signal d'accélération pondéré

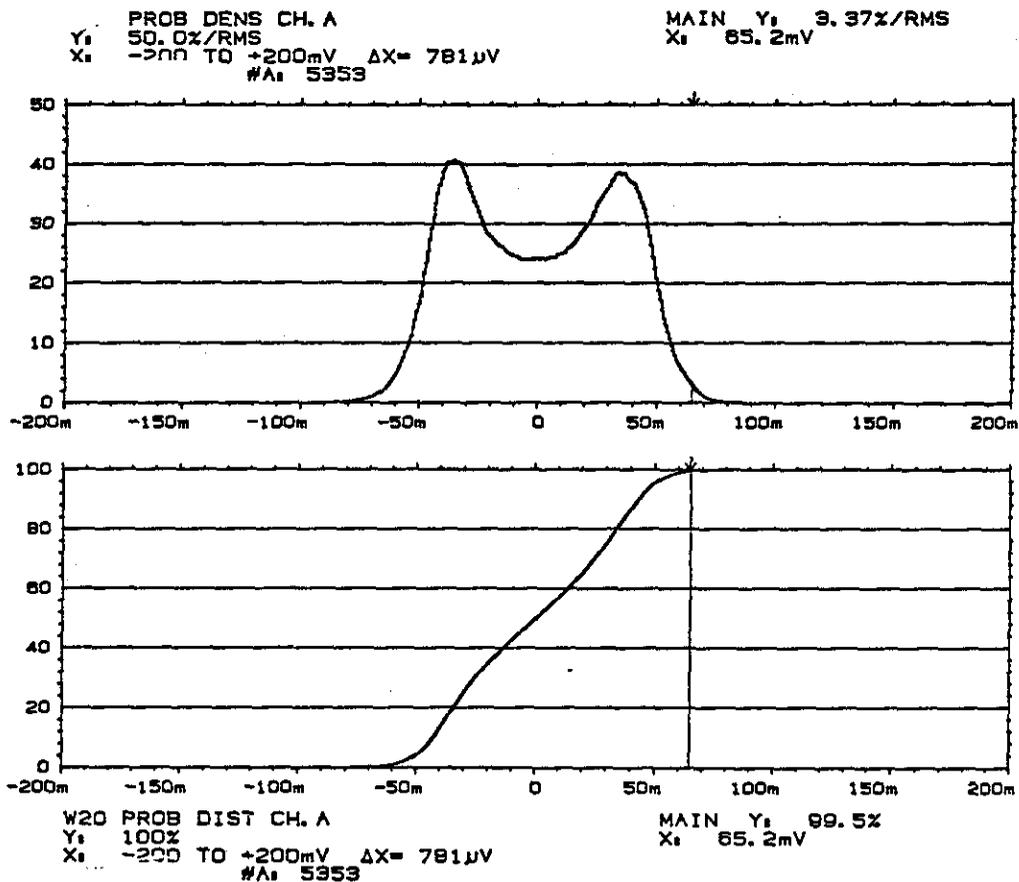
Ca: 2,01

4-) Facteur de forme du signal d'accélération non pondéré

Ff: 1,14

b-) Poignée gauche
 Axe dominant: xh2

1-) Courbes de densité et de distribution de probabilité du signal d'accélération pondéré



2-) Facteur de crête du signal d'accélération pondéré

Fc(+) au seuil de probabilité de 0,5 %: 2,11 (6,5 dB)
 Fc(-) au seuil de probabilité de 0,5 %: 2,06 (6,3 dB)

3-) Coefficient d'aplatissement de la distribution d'amplitude du signal d'accélération pondéré

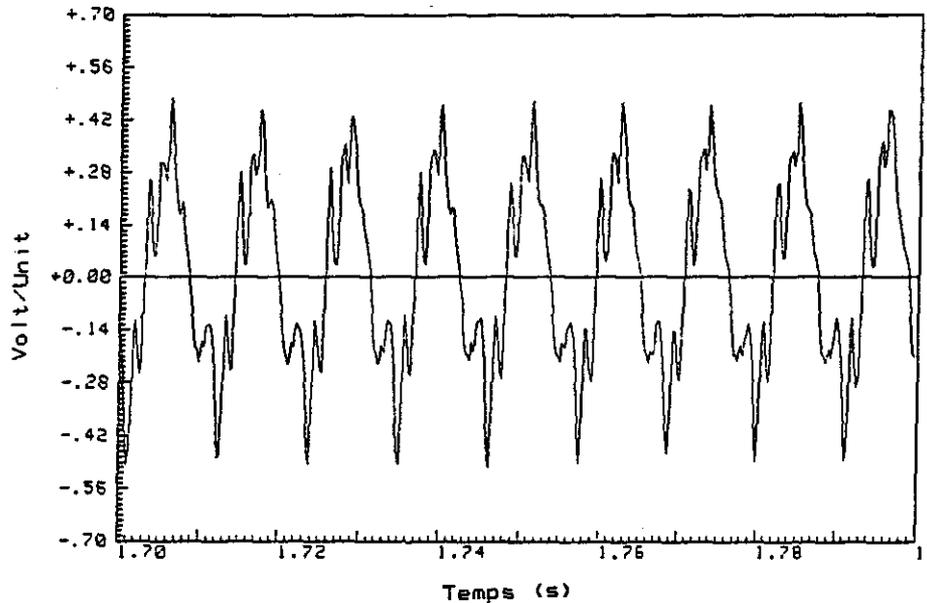
Ca: 1,89

4-) Facteur de forme du signal d'accélération non pondéré

Ff: 1,17

10. ECHANTILLONS DES SIGNAUX D'ACCELERATION NON PONDERES,
EN FONCTION DU TEMPS, GENERES SELON L'AXE DOMINANT (xh1 et xh2)
DE CHACUNE DES 2 POIGNEES

a-) Poignée droite
 Axe dominant: xh1



b-) Poignée gauche
 Axe dominant: xh2

