

**Les effets des vibrations sur les  
constructions: exigences et  
méthodes de détermination**

Programme d'appui scientifique  
à la normalisation

volet II

**Rapport final**

Services fédéraux des  
AFFAIRES SCIENTIFIQUES,  
TECHNIQUES ET CULTURELLES

**Service du Premier Ministre  
Services fédéraux des affaires scientifiques techniques et culturelles  
Programme SSTC d'appui scientifique à la normalisation**

**Participation du  
Bureau de Contrôle Technique pour la Construction  
(SECO)  
au projet**

**Effets des vibrations des constructions :  
Exigences et méthodes de détermination**

**CONTRAT DE RECHERCHE N° NO/D6/014  
Période : du 1<sup>er</sup> avril 1996 au 31 mars 1999**

- I. PREVISION PAR LE CALCUL DES EFFETS DES VIBRATIONS  
DES CONSTRUCTIONS : ETUDES DE CAS**
- II. NORMALISATION DES CRITERES D'ETATS-LIMITES DE  
SERVICE DE DEFORMATION ET DE VIBRATION  
Actions de normalisation en Belgique et au niveau européen**

**RAPPORT FINAL**

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*

\*

22/10/02

## **PLAN DU PRESENT RAPPORT**

### **PARTIE I : PREVISION PAR LE CALCUL DES EFFETS DES VIBRATIONS DES CONSTRUCTIONS: ETUDE DE CAS.**

1. Objectifs
2. Etudes de cas
3. Considérations théoriques
4. Méthodes simplifiées
5. Conclusions

Annexes

### **PARTIE II: NORMALISATION DES CRITERES D'ETATS-LIMITES DE SERVICE DE DEFORMATION ET DE VIBRATION.**

1. Introduction
2. Actions de normalisation en Belgique
3. Actions de normalisation au niveau européen

Annexes

# PARTIE I : PREVISION PAR LE CALCUL DES EFFETS DES VIBRATIONS DES CONSTRUCTIONS: ETUDE DE CAS

## 1. Objectifs

L'objectif est de pouvoir déterminer à partir de mesures de vibrations in situ sur le sol les paramètres de dose vibratoire que l'on peut attendre dans une construction à réaliser à un endroit donné.

La norme ISO 2631-1 (1995) définit comme paramètres de gêne vibratoire les valeurs efficaces de l'accélération pondérée  $a_w$  et de dose vibratoire VDV.

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad VDV = \left[ \int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{1/4}$$

Ces valeurs efficaces sont calculées à partir d'un diagramme d'accélération pondérée  $a_w(t)$  obtenu par trois filtres (passe-haut, passe-bas et physiologique), qui sont décrits par ailleurs. L'application de ces filtres nécessite de passer à un diagramme fréquentiel de l'accélération  $a(\omega)$  par transformée de Fourier du diagramme de  $a(t)$  mesuré.

Trois démarches sont donc possibles:

- Estimation du diagramme fréquentiel sur le plancher:
  - Mesure de  $a(t)$  sur le sol
  - Détermination de  $a(\omega)$  sur le sol
  - *Estimation par calcul* de  $a(\omega)$  sur le plancher
  - Détermination de  $a_w(t)$  et calcul de  $a_w$  et de VDV
- Estimation du diagramme temporel sur le plancher
  - Mesure de  $a(t)$  sur le sol
  - *Estimation par calcul* de  $a(t)$  sur le plancher
  - Détermination de  $a(\omega)$  sur le plancher
  - Détermination de  $a_w(t)$  et calcul de  $a_w$  et de VDV
- Mesure directe du diagramme sur le plancher (à titre de vérification)
  - Mesure de  $a(t)$  sur le plancher
  - Détermination de  $a(\omega)$  sur le plancher
  - Détermination de  $a_w(t)$  et calcul de  $a_w$  et de VDV

Sur base de mesures effectuées sur deux bâtiments existants, nous avons examiné les diverses approches possibles pour l'estimation des effets sur le plancher d'une excitation vibratoire au niveau des fondations.

Nous avons pu comparer les résultats des différentes estimations avec les doses vibratoires réellement mesurées sur les planchers en question.

## 2. Etude de cas

### 2.1 Cas numéro 1: JAUCHELETTE, Chée de Charleroi n° 405

Il s'agit d'une maison ancienne, avec un étage, en bordure de la chaussée de Charleroi. Les habitants se plaignent de vibrations lors du passage de camions. La chaussée est constituée de plaques en béton de 3,5 m de large et de 7 m de long. Les joints entre ces plaques sont visiblement défectueux, et c'est au passage sur ces joints que les essieux des véhicules provoquent un choc qui sollicite dynamiquement l'habitation.

Si l'on considère que la distance entre deux essieux est 1,2 m et que le camion roule à une vitesse de 60 km/h, on obtient une fréquence d'excitation  $f_{exc} = 60.000 / 3.600 / 1,2 = 13,89$  Hz.

#### 2.1.1 Analyse des mesures

Le CSTC a effectué cinq mesures avec neuf canaux simultanés, au moment où les vibrations étaient jugées fortes à très fortes. Les neuf canaux couvrent les directions X (transversal, dans la direction de la source), Y (parallèle à la route) et Z (vertical) en trois points: le sol à l'entrée de la maison, le living au rez-de-chaussée et la chambre au premier étage.

Nous avons sélectionné parmi ces cinq mesures les mesures 2 et 4, car elles présentent des accélérations supérieures à 0,2 m/s<sup>2</sup>, et nous nous limitons à la direction verticale Z (voir *Annexe I-1*).

Nous avons effectué une analyse modale sur un intervalle de temps limité à la sollicitation dynamique maximale. En fait, le résultat de l'analyse modale est peu influencé par l'intervalle de temps choisi.

Nous avons donc fait le calcul pour la mesure 2 entre les temps 2,5 et 6,5 sec, et pour la mesure 4 entre les temps 3 et 7 sec.

Le diagramme fréquentiel (voir *Annexe I-2*) de la source (mesure au sol à l'entrée du bâtiment et au centre du living) indique que la source possède une fréquence propre aux alentours de 15 Hz, qui correspond au passage de deux essieux sur le joint entre les dalles de chaussée. Dans les mesures au centre de la chambre du premier étage, on observe une première fréquence propre autour de la même valeur de 15 Hz, avec un facteur d'amplification de l'amplitude de l'ordre de 4. On se trouve donc typiquement dans un cas de résonance.

#### 2.1.2 Comparaison des valeurs expérimentales avec des vérifications manuelles

On s'intéresse aux fréquences propres de la poutre en chêne support du plancher de la chambre. La norme NBN B 03-002-2 donne une formule exacte dans le cas de la flexion des éléments de constructions allongés.

Les fréquences propres sont données par : 
$$n_r = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{E.I}{m.l^4}} \quad (\text{en Hz})$$

E est le module d'élasticité (N/m<sup>2</sup>)

I est le moment d'inertie de la section transversale (m<sup>4</sup>)

l est la longueur de la construction (m)

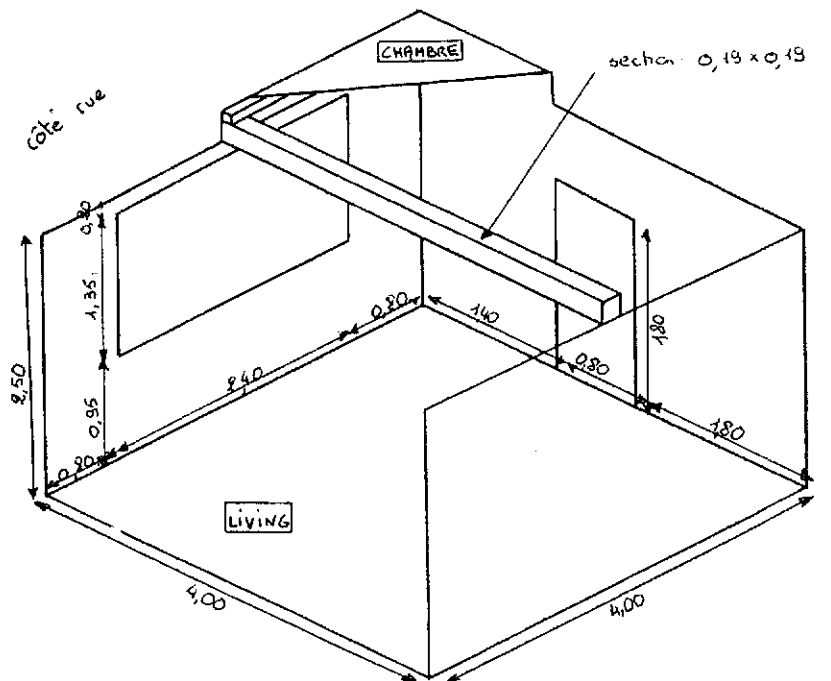
m est la masse par unité de longueur de la construction (kg/m)

$\lambda$  est un coefficient donné pour les fréquences propres de 1 à 5 par:

Numéro de fréquence	1	2	3	4	5
Structure simplement appuyée	9,87	39,5	88,9	158	247
Structure encastée	22,4	61,7	121	200	298

Dans notre cas:

- Le module E du chêne peut être estimé à  $1.10^6 \text{ T/m}^2$ , soit  $1.10^{10} \text{ N/m}^2$
  - L'inertie I de la poutre (0,19 x 0,19) vaut  $0,0001086 \text{ m}^4$
  - La longueur l vaut 4 m
  - La masse vaut  $600 \text{ kg/m}^3 \times 0,19^2 = 21,66 \text{ kg/m}$  si on ne considère que la poutre en chêne. On doit y ajouter la masse du plancher sur une largeur estimée à 2 m, soit:
    - Une plaque de plancher de 2,5 cm d'épaisseur:  $400 \text{ kg/m}^3 \times 0,025 \times 2 = 20 \text{ kg/m}$
    - Des chevrons 10x10 tous les 30 cm:  $400 \text{ kg/m}^3 \times 0,10^2 \times 1/0,30 \times 2 = 26,67 \text{ kg/m}$
    - Une plaque inférieure d'aggloméré de 2,3 cm:  $400 \text{ kg/m}^3 \times 0,023 \times 2 = 18,4 \text{ kg/m}$
- Soit au total 86,73 kg/m



Epaisseur des murs: 0,25

JACHELETTE chez de Charleroi n° 405

On obtient donc comme fréquences propres  $f = 1,113 \times \lambda$  :

Numéro de fréquence	1	2	3	4	5
Structure simplement appuyée	10,98	43,97	98,95	175,87	274,93
Structure encastree	24,93	68,68	134,68	222,62	331,70

### 2.1.3 Résultats du calcul par éléments finis

Le calcul des fréquences propres avec l'hypothèse que la poutre est encastree dans les murs fournit les résultats suivants (voir *Annexe I-3*):

- Une première fréquence à 23,979 Hz qui correspond à une oscillation verticale de la poutre. On retrouve bien les résultats du calcul manuel.
- Une deuxième fréquence à 24,546 Hz qui correspond à une oscillation transversale de la poutre, ce qui en réalité ne se produit pas à cause de l'effet raidisseur du plancher.
- Des fréquences de 34,780 36,853 et 39,963 Hz où l'on voit que les murs commencent à osciller
- Une fréquence de 64,153 Hz qui correspond au second mode propre de la poutre.

Expérimentalement, on mesure une première fréquence propre de l'ordre de 15 Hz, soit nettement plus basse que la fréquence propre déterminée par le programme ( 24 Hz).

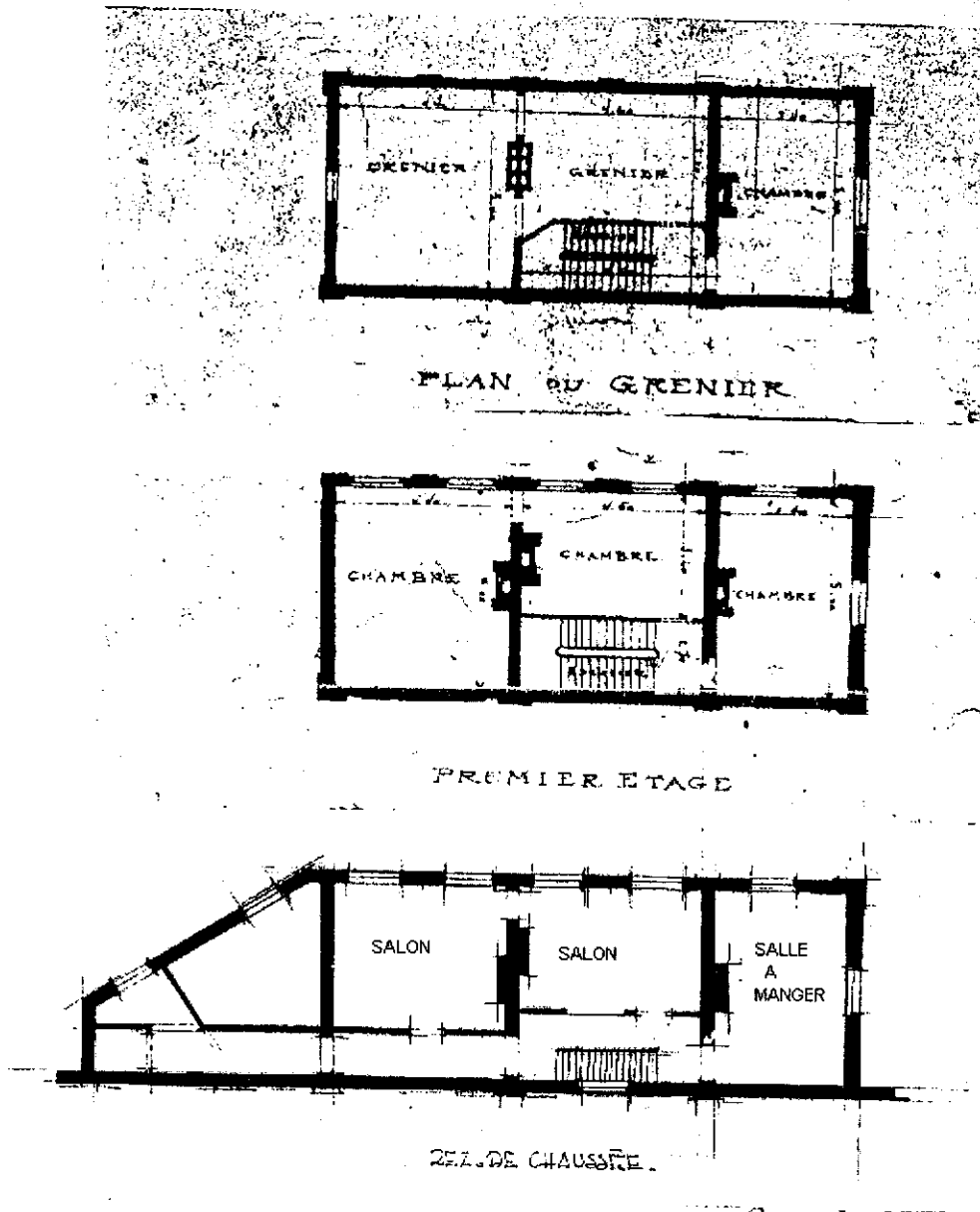
Ceci est lié aux conditions réelles d'encastrement de la poutre dans les murs. En considérant un appui simple, on aurait trouvé par calcul une fréquence propre de l'ordre de 10 Hz.

La valeur expérimentale de 15 Hz se situe donc bien entre ces deux fourchettes (appuyé: 10 Hz, encastree: 24 Hz).

Le calcul des doses vibratoires est effectué au paragraphe 4.3 de la présente note.

## 2.2 Dépôt STIB à Schaerbeek, 327 chée de Haecht.

Il s'agit d'une ancienne maison particulière, jouxtant un dépôt de trams de la STIB. Cette maison sert actuellement de bureaux pour le personnel qui gère le dépôt. Elle se compose d'un niveau de caves, du rez-de-chaussée (une salle à manger et deux salons), d'un premier étage (trois chambres) et d'un second étage sous toiture (une chambre et deux greniers), suivant le plan ci-dessous:



Il est important de noter que tous les planchers sont en bois, portant dans la direction parallèle à la rue, sauf le plancher de la "salle à manger" du rez qui est en béton.

L'excitation provient essentiellement de trams de type '2000' à une fréquence propre de l'ordre de 45 Hz.



### 2.2.1 Analyse des mesures

Le CSTC a effectué dans la partie droite du bâtiment deux mesures (7.500 données sur 10 secondes, et 15.000 données sur 20 secondes) avec treize canaux simultanés. Les treize canaux couvrent les directions X (dans la direction de la source), Y (horizontal, perpendiculaire à X) et Z (vertical) pour les points suivants:

- 1 : sol cave direction X
- 2 : sol cave direction Y
- 3 : sol cave direction Z
- 4 : sol rez, en façade, direction X
- 5 : sol rez, en façade, direction Y
- 6 : sol rez, en façade, direction Z
- 7 : sol rez milieu de la salle à manger, direction Z
- 8 : sol 1<sup>er</sup>, en façade, direction X
- 9 : sol 1<sup>er</sup>, en façade, direction Y
- 10 : sol 1<sup>er</sup>, milieu de la pièce à droite, direction Z
- 11 : sol 2<sup>nd</sup>, en façade, direction X
- 12 : sol 2<sup>nd</sup>, en façade, direction Y
- 13 : sol 2<sup>nd</sup>, milieu de la chambre, direction Z.

Nous avons sélectionné pour nos analyses la deuxième mesure, sur une durée de 20 secondes, en nous limitant aux effets verticaux (voir *Annexe I-4*).

Nous avons effectué une analyse modale sur un intervalle de temps limité à la sollicitation dynamique maximale, entre les temps 2 et 6 sec.

Le diagramme fréquentiel de la source (voir *Annexe I-5*) mesuré dans la cave ou au rez en façade indique que la source possède bien une fréquence propre aux alentours de 45 Hz, qui correspond au tram 2000. Dans les mesures au centre de la salle à manger du rez (béton), on observe une première fréquence autour de 16 Hz, avec un facteur d'amplification de l'amplitude de l'ordre de 2. Au centre de la dalle du 1<sup>er</sup>, en bois, deux fréquences propres apparaissent (23 Hz et 48 Hz), avec une amplification de l'ordre de 1,5. Au milieu du plancher du 2<sup>nd</sup> étage, on trouve une fréquence propre de l'ordre de 19 Hz, avec un facteur d'amplification de l'ordre de 3.

Le calcul des fréquences propres de la structure (voir *Ann. I-6*) ne correspond guère aux valeurs mesurées. Les trois premiers modes (17,3 19,4 et 23,3 Hz) sont les trois premiers modes du plancher du 2<sup>ème</sup> étage, côté gauche sur le plan. Les trois modes suivants ( de l'ordre de 24,1 Hz) sont les premiers modes des trois planchers en bois des pièces centrales. Les septième et huitième modes sont des modes de couplage entre les différents planchers. Cet exemple illustre la difficulté de déterminer les modes propres d'une structure globale, quand on sait que la précision du calcul diminue dans le cas de valeurs propres voisines.

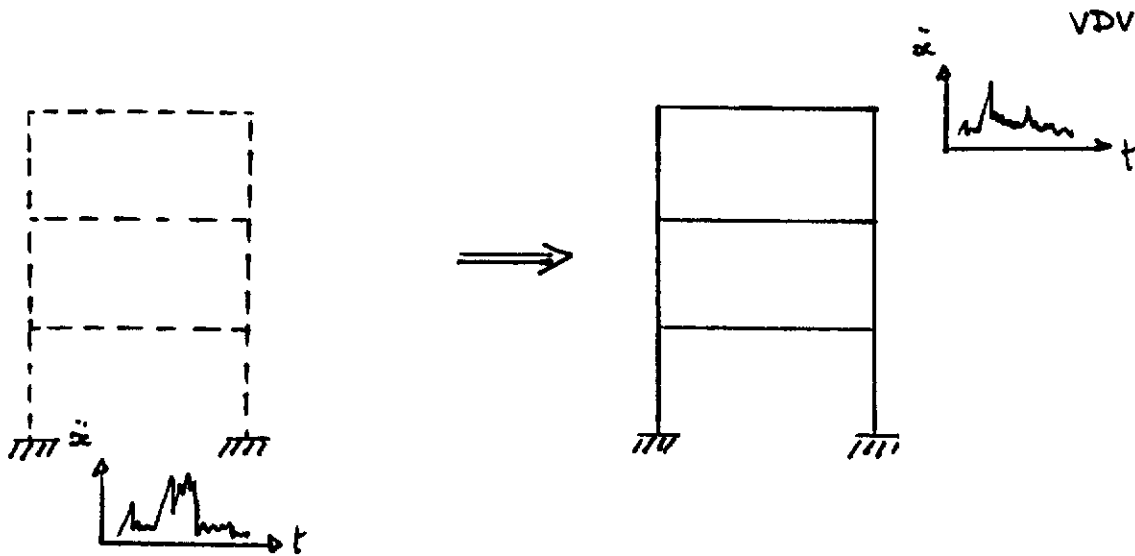
Comme dans l'exemple précédent, le fait de considérer des planchers simplement appuyés ou encastres conduit à des valeurs de fréquences propres fort différentes.

Ces constats plaident donc pour une approche locale des phénomènes vibratoires, telle que décrite au paragraphe 4.2.

### 3. Considérations théoriques

L'objectif est de déterminer, au départ de mesures préalables in situ d'une accélération  $a(t)$  la valeur de la dose vibratoire (VDV) à l'aide de diagrammes d'accélération  $a(t)$  calculés pour la construction projetée.

Le problème dynamique posé consiste donc à déterminer, à partir de l'accélération vibratoire donnée en un point de la fondation d'une structure, le diagramme d'accélération en tout point de cette structure.



Une première méthode consiste à calculer, par les modules dynamiques d'un programme d'éléments finis, le diagramme d'accélération  $a_i(t)$  en tout point  $i$  de la structure pour une excitation en fondation  $a_0(t)$  donnée.

L'utilisation d'un tel calcul par éléments finis en mode dynamique soulève trois difficultés:

- L'intégration directe pas à pas est fastidieuse car dans les mesures effectuées, les variations d'accélération sont très nombreuses sur la durée de l'excitation.
- La plage des fréquences d'excitation mesurées varie de 0 à 80 Hz, alors que d'un point de vue numérique, les modes propres calculés au-delà de 30 Hz sont fort imprécis.
- On ne prend pas en compte l'influence de l'amortissement du sol.

On en conclut qu'une telle approche sort du cadre de l'activité d'un bureau d'études ordinaire.

Les modules dynamiques présents dans la plupart des programmes de calcul disponibles sur le marché sont les suivants:

- L'ANALYSE SISMIQUE

On introduit au niveau de la fondation un diagramme fréquentiel d'accélération  $a(\omega)$ .

On obtient comme résultat les valeurs maximales des déplacements et des éléments de réduction (M,N,T) en tout point.

- L'ANALYSE TEMPORELLE

On introduit en un point quelconque de la structure une force variable au cours d'un intervalle de temps  $F(t)$ .

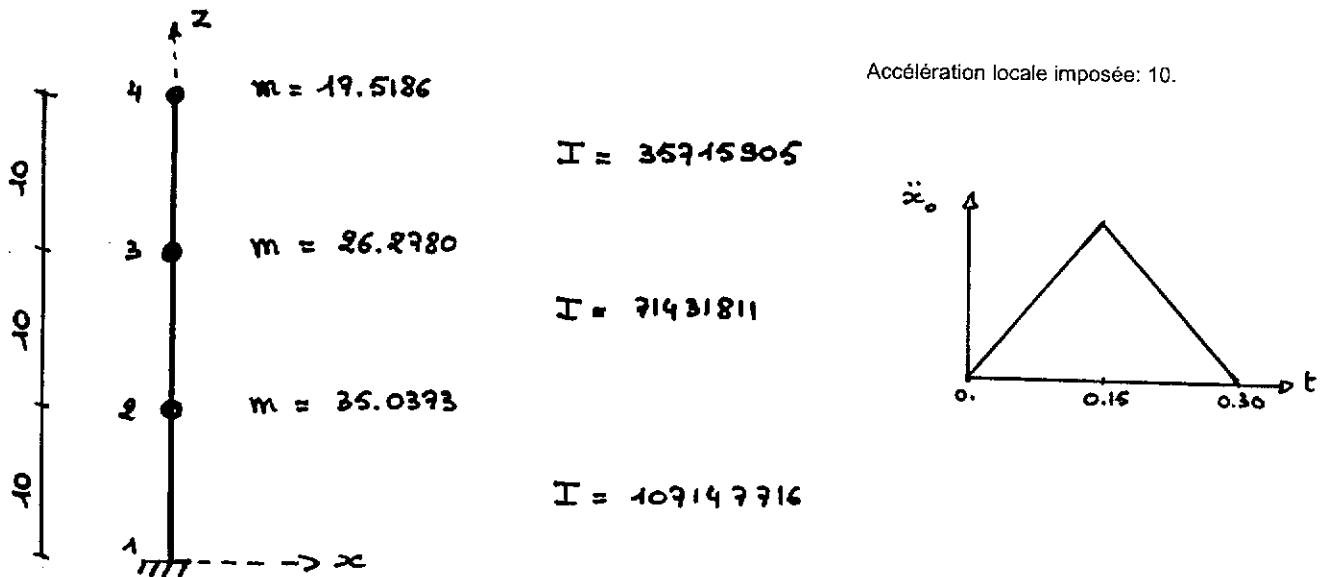
On calcule en tout point et en fonction du temps les déplacements, vitesses, accélérations ainsi que les éléments de réduction (M,N,T).

Aucune de ces deux méthodes n'est donc d'application dans notre cas: à partir d'une accélération en un point  $i$   $a_i(t)$ , nous souhaitons déterminer en tout point  $j$  de la structure l'accélération  $a_j(t)$ .

## 4. Méthodes simplifiées

### 4.1 Méthode des masses additionnelles

A l'aide du programme SAMCEF, on effectue le traitement complet, avec intégration directe pas à pas, pour un modèle simple de référence.

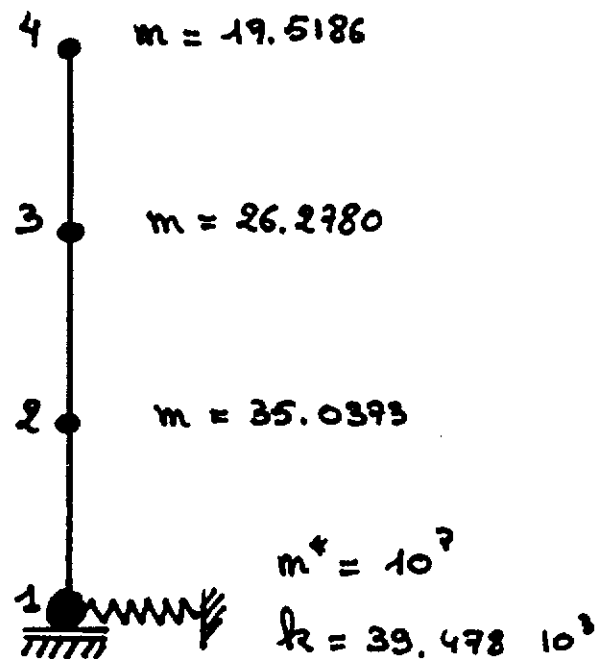


Avec le même programme, on considère un modèle simplifié. Sur la même structure, on place au nœud 1 qui subit l'excitation:

- Une masse fictive importante ( $10^6$  fois la masse globale de la structure):  $m^* = 10^7$
- Un ressort dans la direction de vibration, calibré de telle sorte que la première fréquence propre du système simplifié soit très faible par rapport à la première fréquence propre du système réel (mode rigide de déplacement).

On choisit par exemple  $K = 39.478 \cdot 10^3$ , de telle sorte que la première fréquence propre  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m^*}} = 0,32$  Hz, beaucoup plus faible que la première fréquence propre du système qui vaut 3,22 Hz.

Comme sollicitation, on impose au nœud 1 une force variable dans le temps:  $F(t) = m^* \cdot a(t)$   
Par cet artifice, on se retrouve dans le cas de l'analyse temporelle.



Les diagrammes de la page suivante donnent, pour une accélération de forme triangulaire au nœud 1, les accélérations aux nœuds 2, 3 et 4.

On constate que le modèle "simplifié" traité par SAMCEF possède une bonne correspondance avec le modèle "exact".

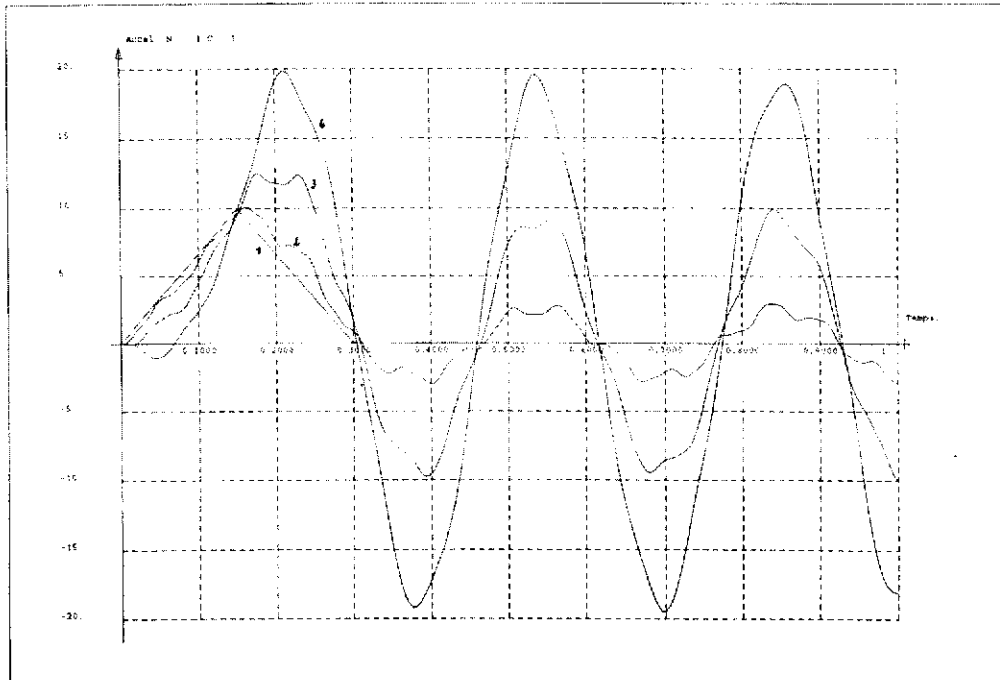
D'un point de vue théorique, cette méthode répond bien à nos besoins: à partir d'une analyse temporelle, nous pouvons calculer les accélérations en tout point de la structure.

Les quelques essais que nous avons réalisés ont cependant mis en évidence plusieurs difficultés, liées essentiellement aux nombreuses variations de l'accélération sur la période de mesure.

Cela nécessite de simplifier les diagrammes mesurés, ce qui introduit dans la démarche des éléments subjectifs dont il est difficile d'estimer l'influence sur le résultat final.

SAMCEF - BACON : V 6.1-4

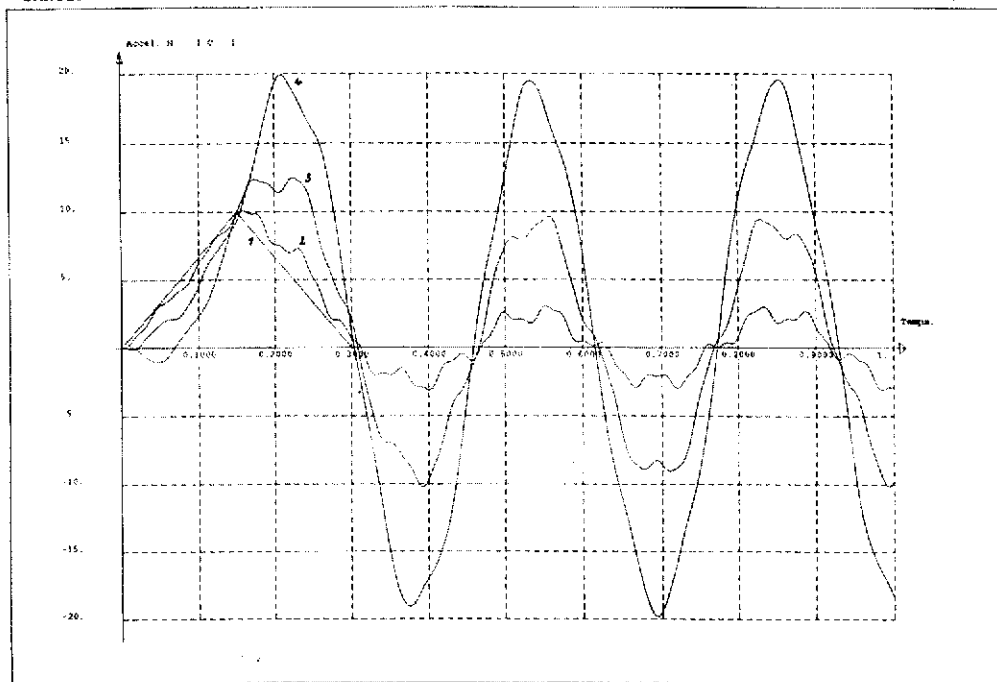
1 AVR 1999 16:58:34



Modèle complet avec intégration pas à pas

SAMCEF - BACON : V 6.1-4

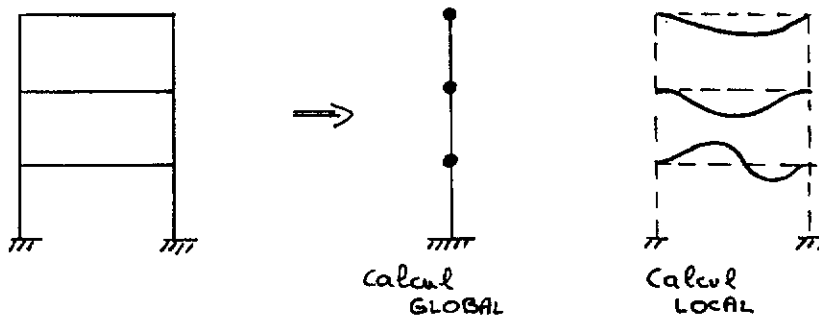
1 AVR 1999 17:01:37



Modèle simplifié avec analyse temporelle

## 4.2 Méthode d'analyse locale avec amplification dynamique

On décompose l'approche en un calcul GLOBAL et un calcul LOCAL.



Le calcul GLOBAL fournit les modes de vibration d'ensemble de la structure, essentiellement dans le plan horizontal.

Dans le calcul LOCAL, on néglige la rigidité des voiles et des colonnes. La vibration des appuis est directement transmise aux planchers et aux dalles.

Une analyse locale nous fournit le premier mode propre  $n_1$  du plancher étudié.

Les étapes du calcul dynamique simplifié sont les suivantes, sur base du schéma de normalisation des paramètres exprimant les exigences:

1. mesure de l'accélération  $a(t)$  au niveau de la fondation
2. application d'une transformée de Fourier:  $A(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$  à cette accélération
3. pondération fréquentielle :  
Il s'agit des trois filtres ISO (passe-haut, passe-bas et physiologique)

$$A_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_1}{f}\right)^4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_2}\right)^4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^4}} \cdot A(\omega)$$

avec  $f_1 = 0,794 \text{ Hz}$   
 $f_2 = 100 \text{ Hz}$   
 $f_0 = 5,684 \text{ Hz}$

4. amplification dynamique: approximation qui nous permet de déterminer le diagramme d'accélération sur l'élément de structure envisagé:

$$A_{\text{mod}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{n_1}\right)^2\right)^2 + \left(2\beta \frac{f}{n_1}\right)^2}} A_0(\omega) \quad \text{où } n_1 \text{ est la fréquence propre du 1}^{\text{er}} \text{ mode}$$

$\beta$  vaut 0,01 pour l'acier  
 0,02 pour le béton  
 0,025 pour le bois

5. transformée inverse de Fourier de  $A_{\text{mod}}(\omega)$  pour obtenir l'accélération pondérée:

$$a_w(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} A_{\text{mod}}(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega$$

6. calcul des valeurs efficaces:

l'accélération pondérée RMS (*root-mean-square*):  $a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt}$

la dose vibratoire (*vibration dose value*):  $VDV = \left[ \int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{1/4}$

T étant la durée de la mesure.

### 4.3 Exemples d'application de l'analyse locale avec amplification dynamique

Pour chaque plancher, trois calculs ont été effectués:

- Calcul de  $a_w$  et de VDV pour l'excitation mesurée en fondation
- Calcul de  $a_w$  et de VDV pour l'accélération estimée du plancher sur base de la méthode simplifiée
- Calcul de  $a_w$  et de VDV pour l'accélération mesurée sur le plancher

#### CAS DE LA MAISON DE JAUCHELETTE

$n_1 = 24$  Hz (cas encastré)     $\beta = 0,025$     Fichier de mesures 04.

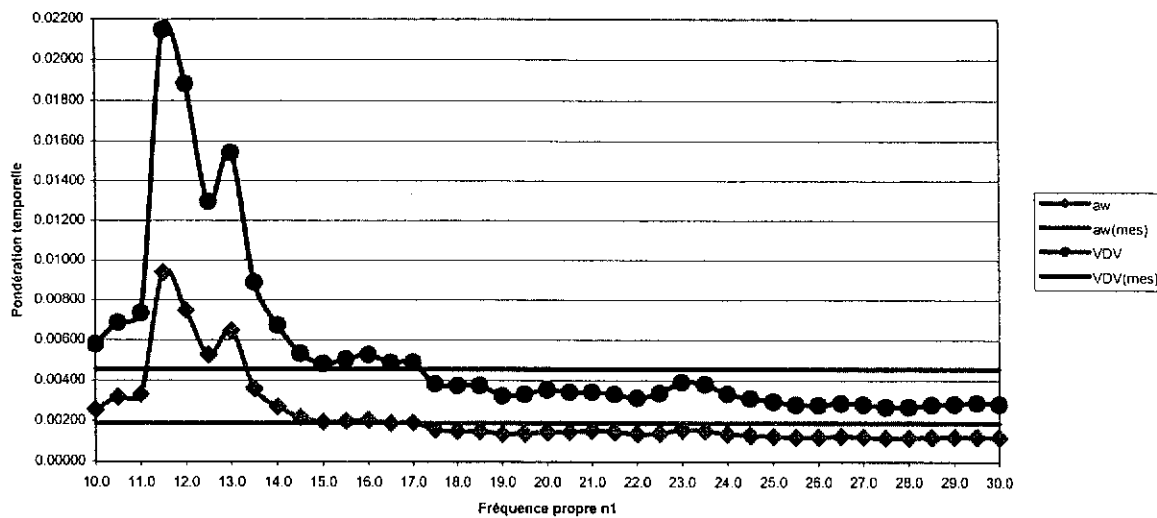
	$a_w$	VDV
<b>Excitation</b>	0,00098	0,00222
<b>Plancher (estimé)</b>	0,00136	0,00333
<b>Plancher (mesuré)</b>	0,00190	0,00458

Nous avons, dans ce cas, étudié l'influence de la valeur de la première fréquence propre  $n_1$  sur la dose vibratoire, en considérant que  $n_1$  varie de 10 à 30 Hz (du cas appuyé au cas encastré), et avec une valeur d'amortissement  $\beta = 0,025$

Ces calculs nous conduisent au diagramme suivant:



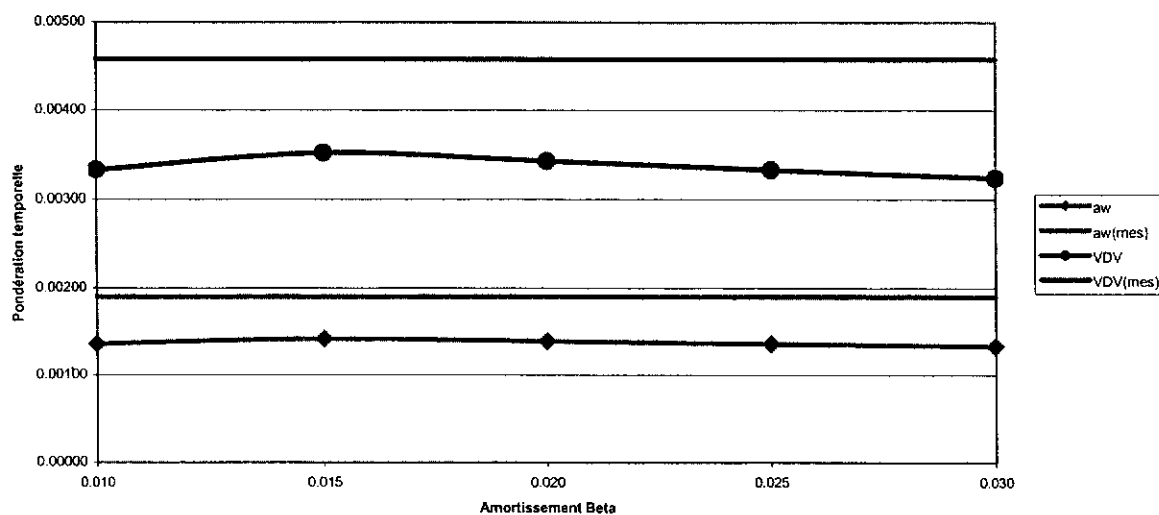
JAUCHELETTE : Dose vibratoire



On constate qu'on obtient des valeurs assez proches des valeurs mesurées, sauf dans la zone de la fréquence de résonance, où l'application de l'amplification dynamique surestime fortement la dose vibratoire. Ce phénomène mériterait une étude plus approfondie.

Une étude analogue de l'influence de la valeur de l'amortissement  $\beta$  sur la dose vibratoire, en supposant que  $n_1$  vaut 24 Hz nous conduit au diagramme suivant

JAUCHELETTE : Dose vibratoire



La valeur du coefficient d'amortissement a donc relativement peu d'influence sur les paramètres de dose vibratoire.

## CAS DU DEPOT STIB DE SCHAERBEEK

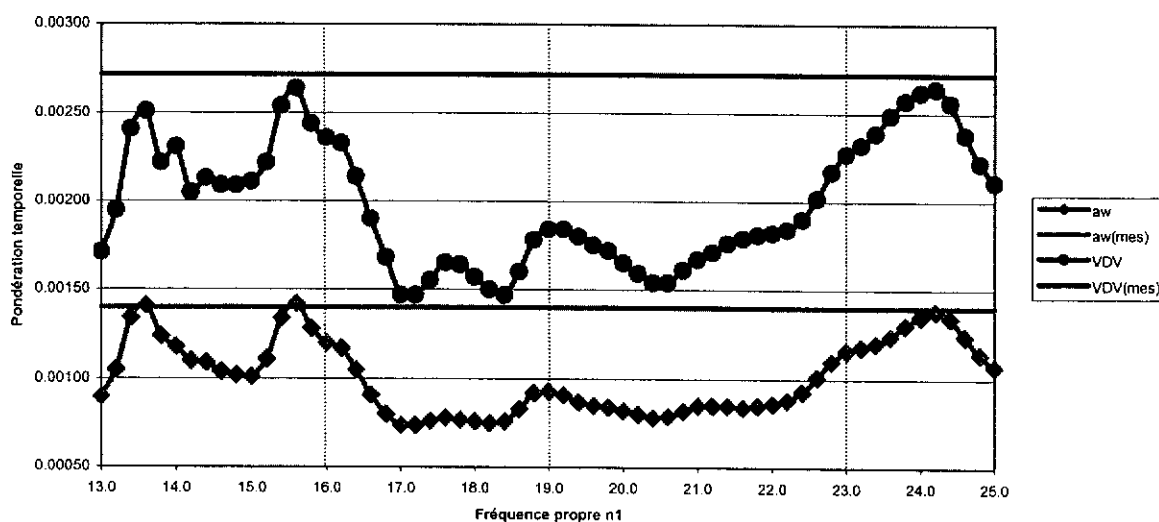
Sur base du diagramme fréquentiel mesuré sur chaque plancher, on estime la première fréquence propre, ce qui nous conduit aux paramètres suivants:

Plancher rez (béton):	$n_1 = 16 \text{ Hz}$	$\beta = 0,02$	(canal de mesure n°7)
Plancher 1 <sup>er</sup> étage (bois):	$n_1 = 23 \text{ Hz}$	$\beta = 0,025$	(canal de mesure n° 10)
Plancher 2 <sup>ème</sup> étage (bois):	$n_1 = 19 \text{ Hz}$	$\beta = 0,025$	(canal de mesure n° 13)

	$a_w$	VDV
Excitation	0,00055	0,00118
Plancher rez (estimé)	0,00131	0,00255
Plancher rez (mesuré)	0,00116	0,00227
Plancher 1 <sup>er</sup> (estimé)	0,00116	0,00227
Plancher 1 <sup>er</sup> (mesuré)	0,00120	0,00238
Plancher 2 <sup>ème</sup> (estimé)	0,00093	0,00184
Plancher 2 <sup>ème</sup> (mesuré)	0,00140	0,00272

Une étude, pour un plancher bois, de l'influence de la valeur de  $n_1$  sur les doses vibratoires fournit le diagramme suivant:

SCHAERBEEK- DEPOT STIB : Dose vibratoire plancher bois



On obtient des valeurs assez proches des valeurs mesurées pour les planchers du rez et du 1<sup>er</sup> étage. Le résultat du calcul de la dose vibratoire pourrait encore être meilleur si on choisit une fréquence propre  $n_1$  de 15,6 Hz au lieu de 16 Hz pour le plancher du rez, et 24,2 Hz au lieu de 23 Hz pour le plancher du premier étage. Par contre, le calcul pour le plancher du 2<sup>ème</sup> étage ne fournit pas de résultat satisfaisant. Il n'a pas été possible d'en déterminer la raison, mais on peut remarquer que le diagramme fréquentiel mesuré présente une allure assez différente des autres planchers (deux fréquences propres voisines et une faible amplification).

## 5. Conclusions

L'utilisation d'un programme de calculs dynamiques pour la détermination des diagrammes d'accélération en tous points d'une structure à partir de l'accélération excitatrice en fondation est un investissement excessif pour un bureau d'études ordinaire.

Pour une utilisation courante, le calcul simplifié, en n'envisageant que les effets locaux mode par mode semble donc indiqué. Nous l'avons appliqué en nous limitant au premier mode, et moyennant une connaissance correcte des paramètres liés au matériau (module dynamique et amortissement) et à la structure (fréquences propres), les résultats sont positifs.

Ils pourraient certainement être améliorés en considérant des cas de bâtiments où les paramètres liés au matériau et à la structure sont plus facilement maîtrisables que dans le cas d'anciens planchers en bois.

La prévision de la gêne vibratoire par cette méthode simplifiée est donc tout à fait possible.

Un texte de norme devrait donner la méthode à suivre et préciser les valeurs des propriétés des matériaux à utiliser dans le calcul.

Ces données de calcul feront l'objet de la future annexe nationale belge à l'EN 1990.

## PARTIE II. NORMALISATION DES CRITERES D'ETATS-LIMITES DE SERVICE DE DEFORMATION ET DE VIBRATION.

### 1. Introduction

En vue de la normalisation européenne des critères d'états-limites de service des constructions, il s'agit de définir les exigences relatives aux effets des vibrations des constructions dues à des sources vibratoires intérieures (machines, par exemple) ou extérieures (trafic ferroviaire, par exemple), ainsi que les méthodes de mesure (dans les constructions in situ) et de prévision par le calcul (modélisation).

Sur base des résultats des recherches effectuées dans ce domaine et de l'expérience acquise tant en Belgique qu'à l'étranger, des actions ont été menées par le coordinateur de la recherche tant au niveau belge (commission "sécurité des structures" de l'IBN) qu'au niveau européen (CEN TC 250 "Eurocodes structurels" et son Project Team "Basis of Design").

### 2. Actions de normalisation en Belgique

En vue de répondre à une demande du secteur de la construction, une norme belge a été établie pour définir les valeurs limites recommandées de déformations admissibles pour les bâtiments dans les cas courants.

Il s'agit de la NBN B03-003 dont la version finale qui sera publiée en 2002 est donnée en *Annexe II-1*.

Elle comporte un chapitre 8. VIBRATIONS où sont définis les critères résultant de la présente recherche.

### 3. Actions de normalisation au niveau européen

Dans le cadre de l'élaboration des EUROCODES, les normes européennes de calcul des structures, la future norme EN 1990 comporte un chapitre A1.4 Etats-limites de service dont l'objectif est de définir des critères de déformation et de vibration applicables aux bâtiments.

Une première proposition (*Annexe II-2*) donnait des valeurs limites de déplacement maximum admissible, ainsi que des valeurs limites minimales de fréquences propres des structures et de ses éléments pour un comportement satisfaisant aux vibrations transmises par les occupants.

Après consultation des instituts de normalisation nationaux, une forte opposition à la normalisation de valeurs limites est apparue qui a conduit à leur retrait dans la version de l'EN 1990 qui sera finalement publiée comme norme européenne (*Annexe II-3*).

Les règles de normalisation du CEN applicables aux EUROCODES prévoient que chaque norme européenne soit complétée dans chaque pays par une Annexe Nationale précisant les choix ouverts dans la norme et donnant éventuellement des prescriptions complémentaires et non contradictoires par rapport à celles de la norme.

L'Annexe Nationale Belge à l'EN 1990 inclura des valeurs limites admissibles, ainsi que des méthodes de calcul prévisionnels des vibrations des projets de bâtiment sur base des conclusions de la présente recherche.

Elle sera établie dans le cadre du programme 2000-2003 (contrat NM/G3/12).

**JAUCHELETTE :**

**Diagrammes des mesures d'accélération superposés pour  
les trois points de mesure et pour les trois directions :**

**X : perpendiculaire à la route**

**Y : parallèle à la route**

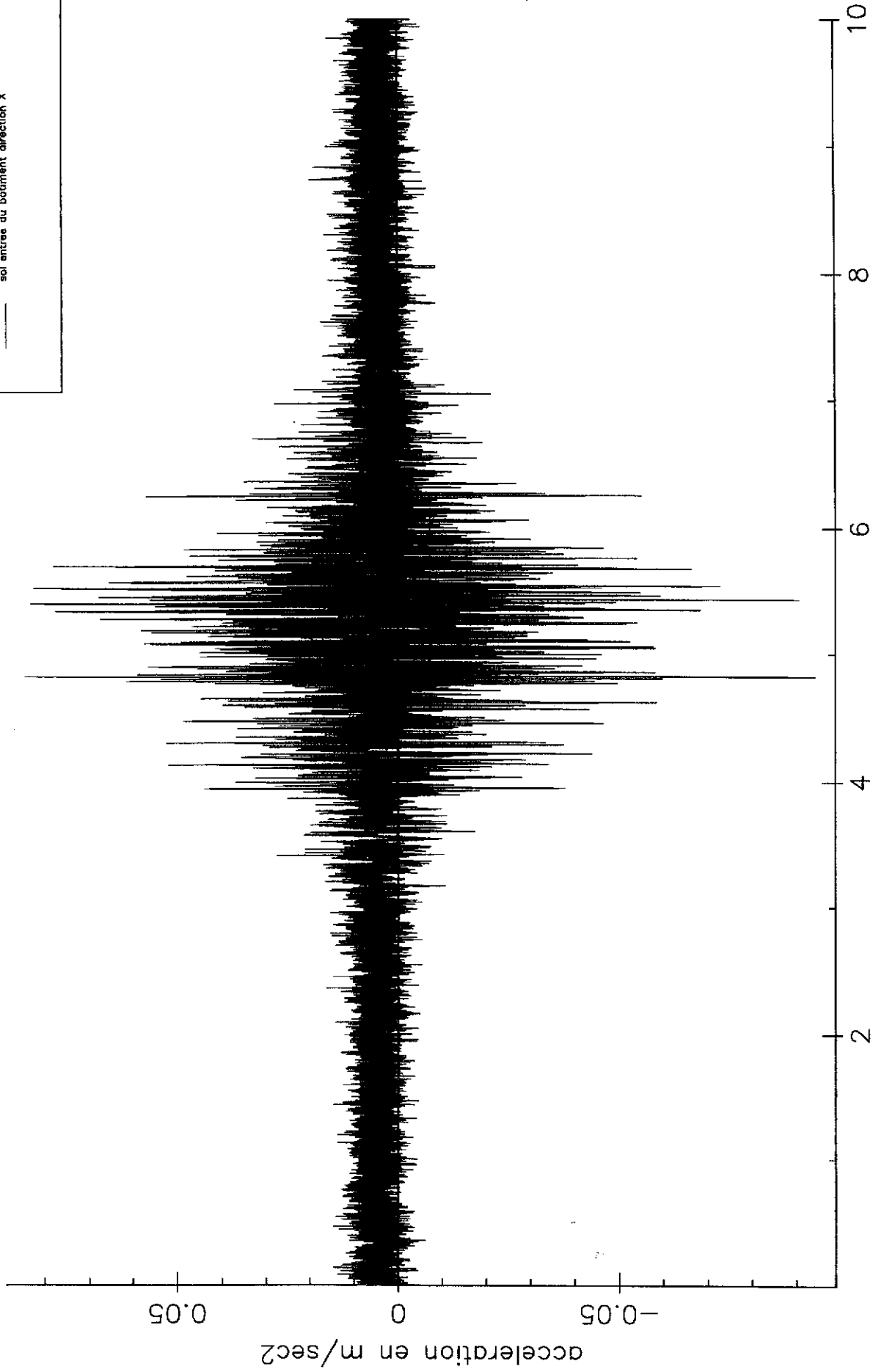
**Z : vertical**

**Ces diagrammes sont donnés pour les mesures 2 et 4**



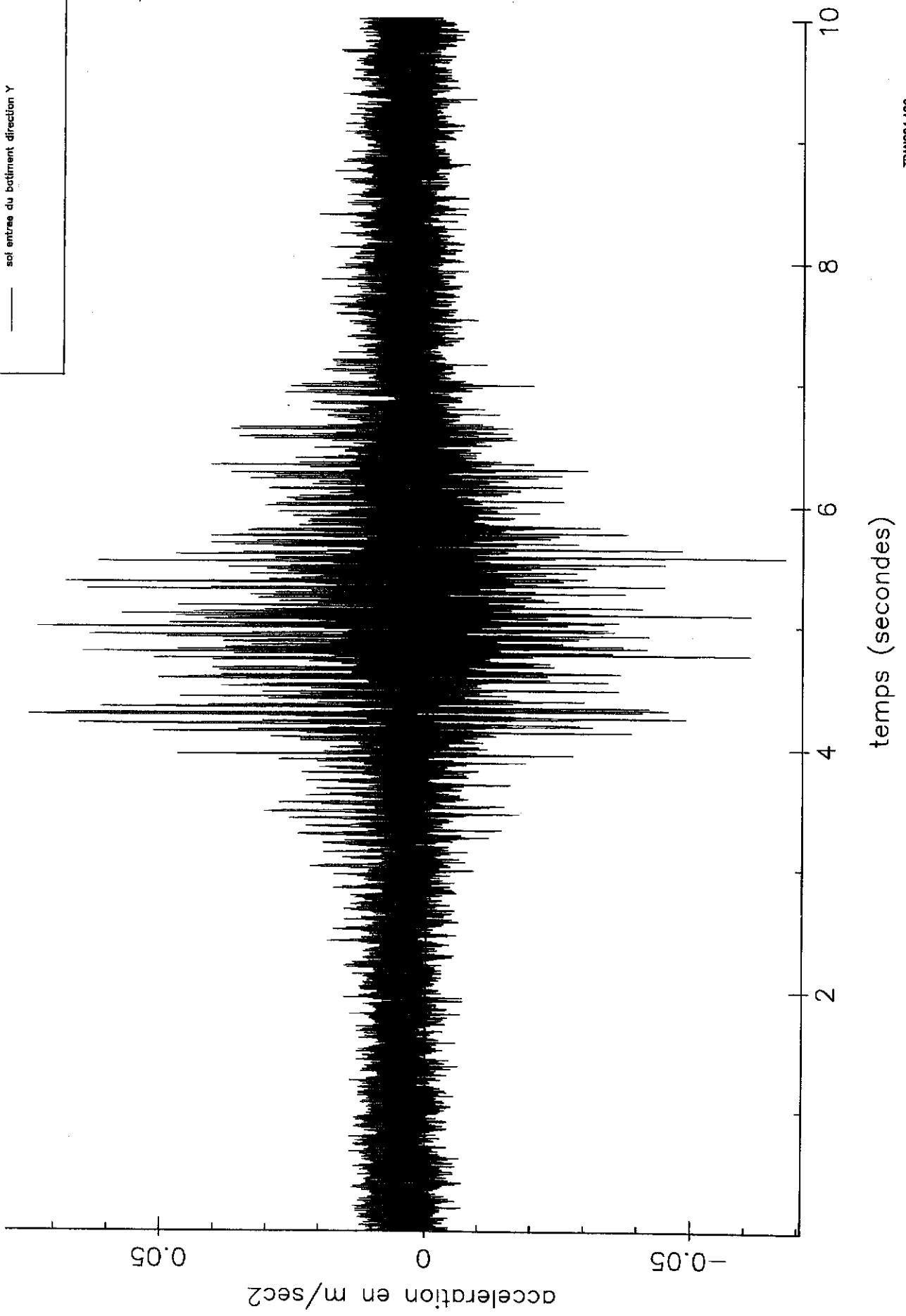
# Jauchelette chaussee de Charleroi no40

- centre chambre 1er etage direction X
- centre living rez direction X
- sol entree du bâtiment direction X



Jauchellette chaussée de Charleroi no40

- centre chambre 1er étage direction Y
- centre living rez direction Y
- sol entree du bâtiment direction Y

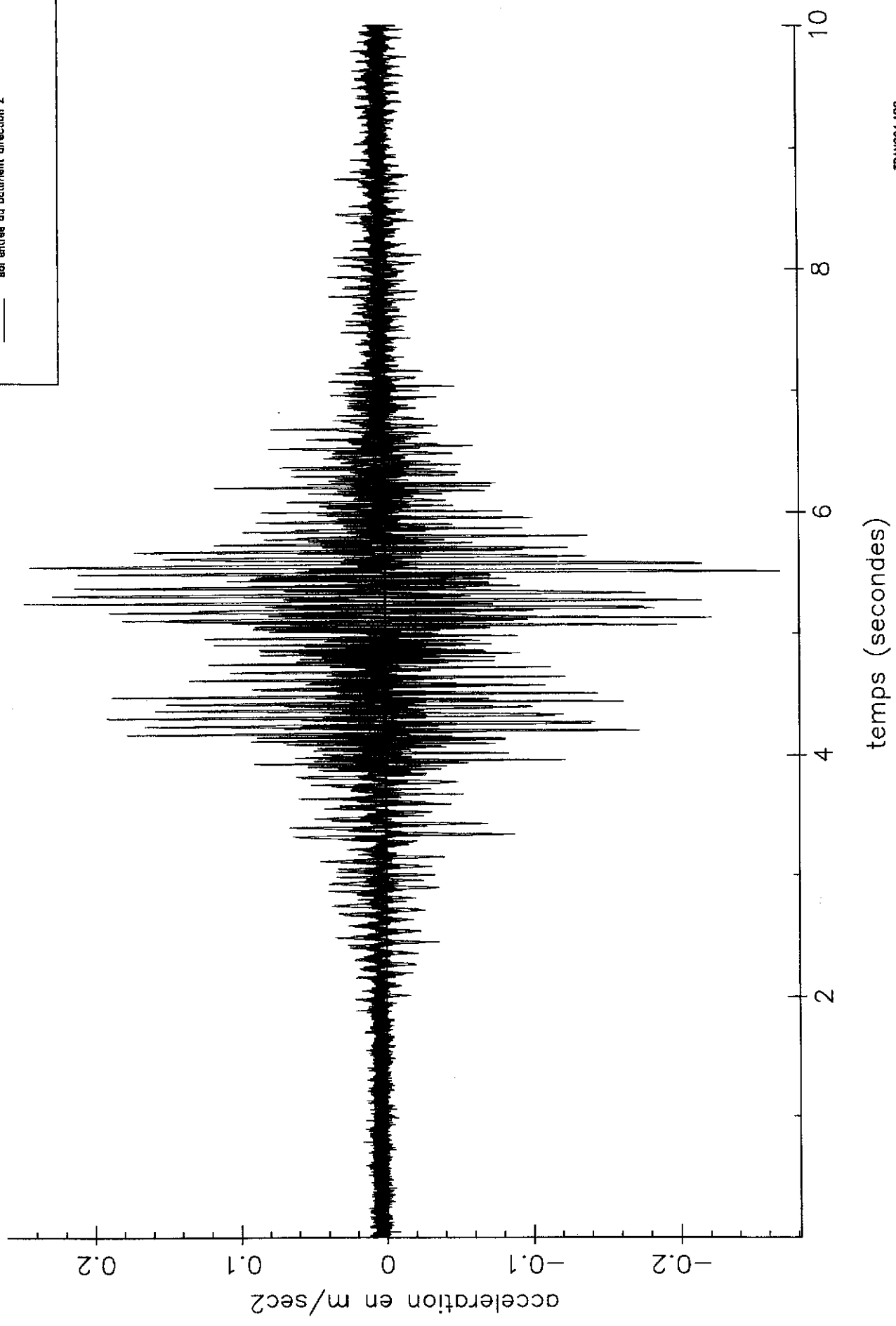






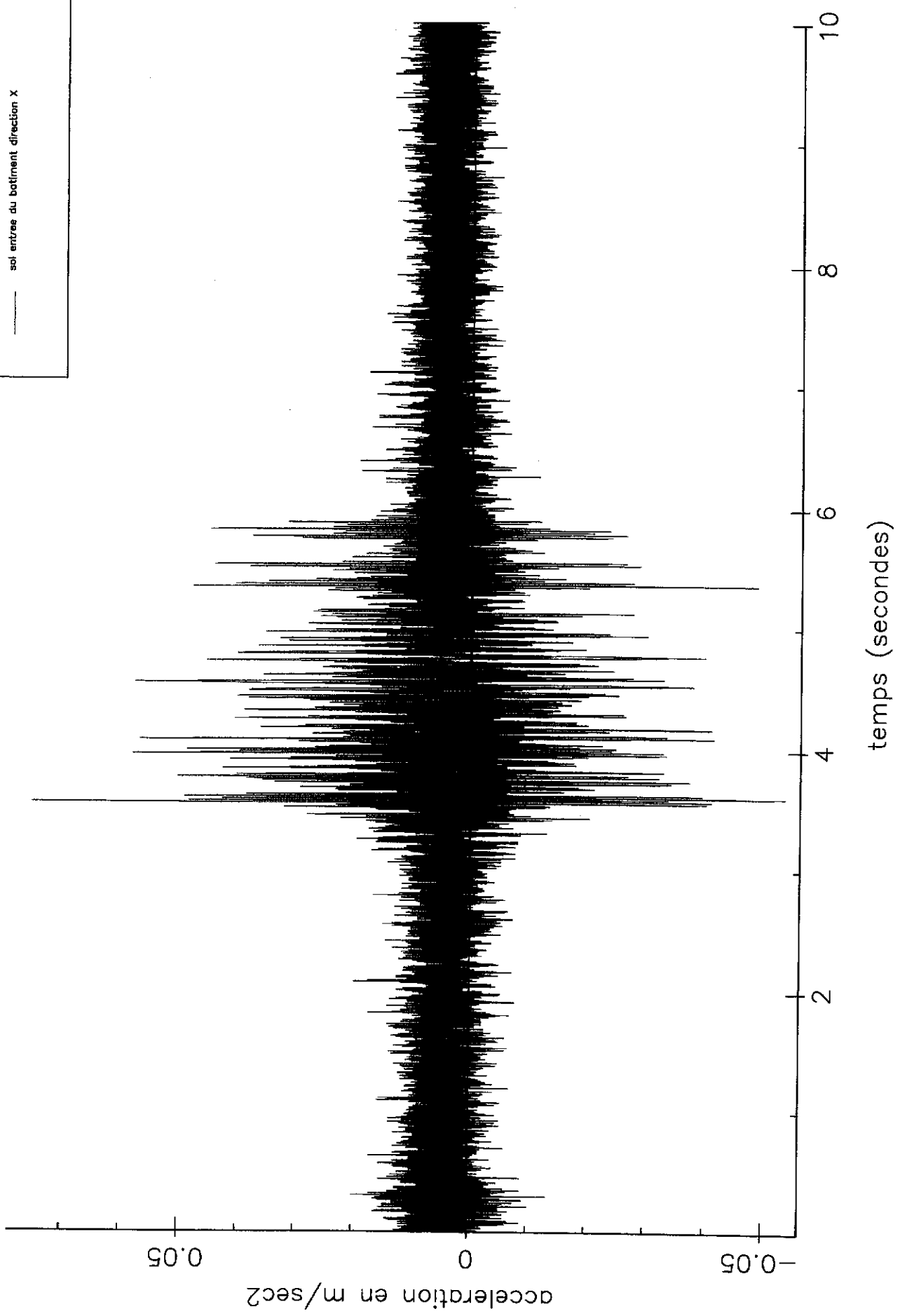
# Jauchelette chaussée de Charleroi no40

centre chambre 1er etage direction Z  
centre living rez direction Z  
sol entrée du bâtiment direction Z



Jauchelette chaussée de Charleroi no40

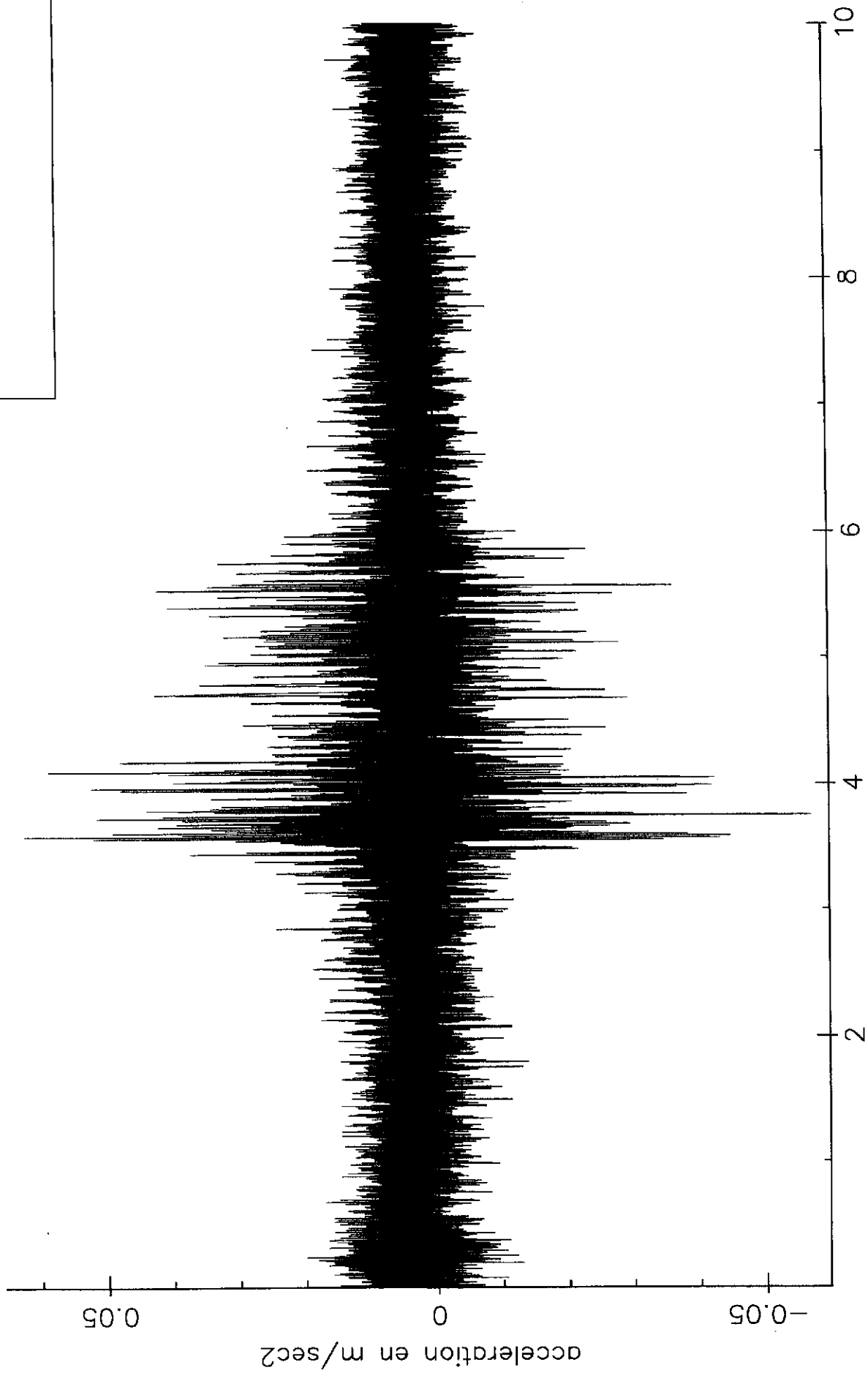
- centre chambre 1er étage direction X
- centre living rez direction X
- sol entrée du bâtiment direction X





# Jauchelette chaussée de Charleroi no40

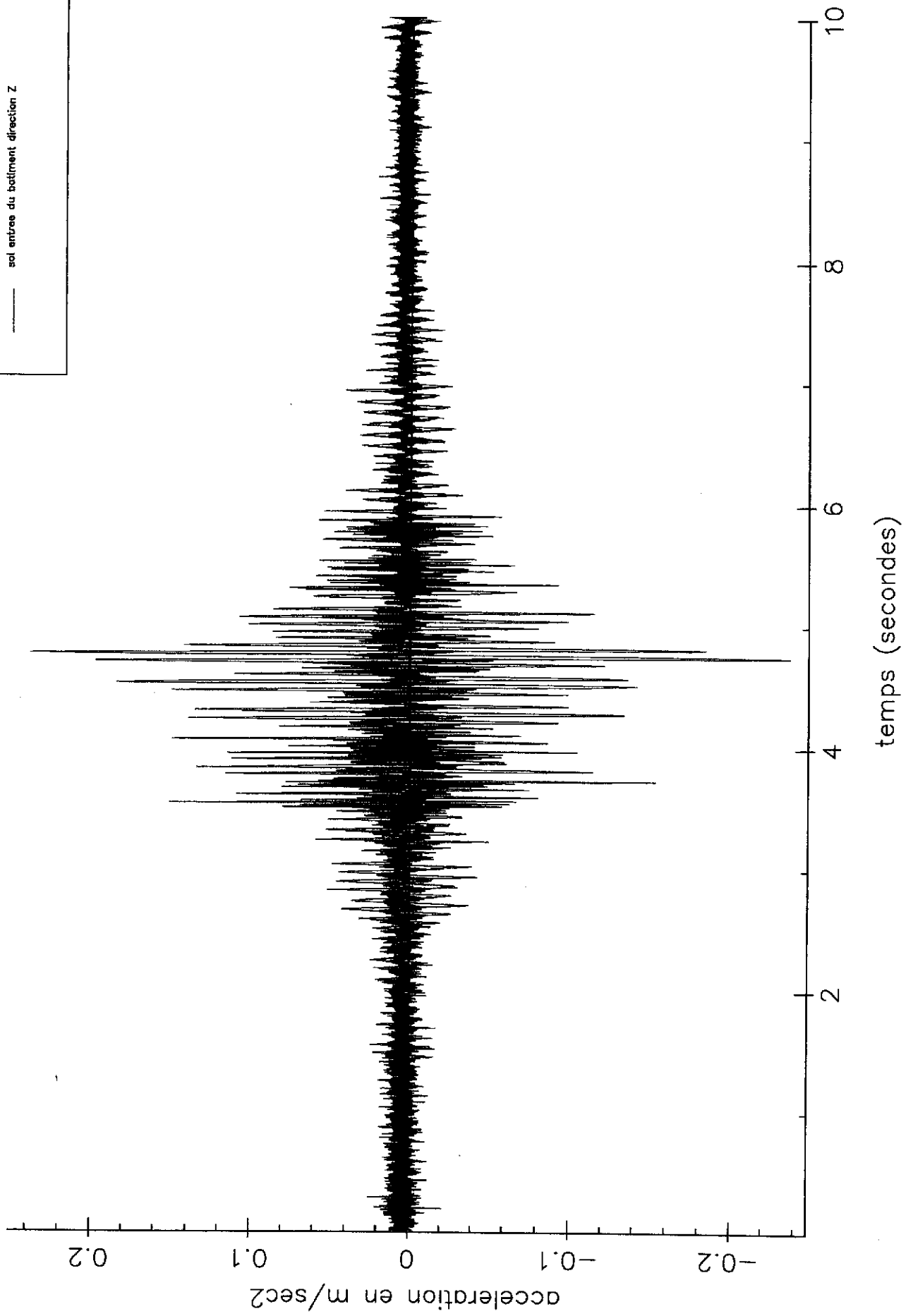
- centre chambre 1er étage direction Y
- centre living rez direction Y
- sol antree du batiment direction Y





# Jauchelette chaussée de Charleroi no40

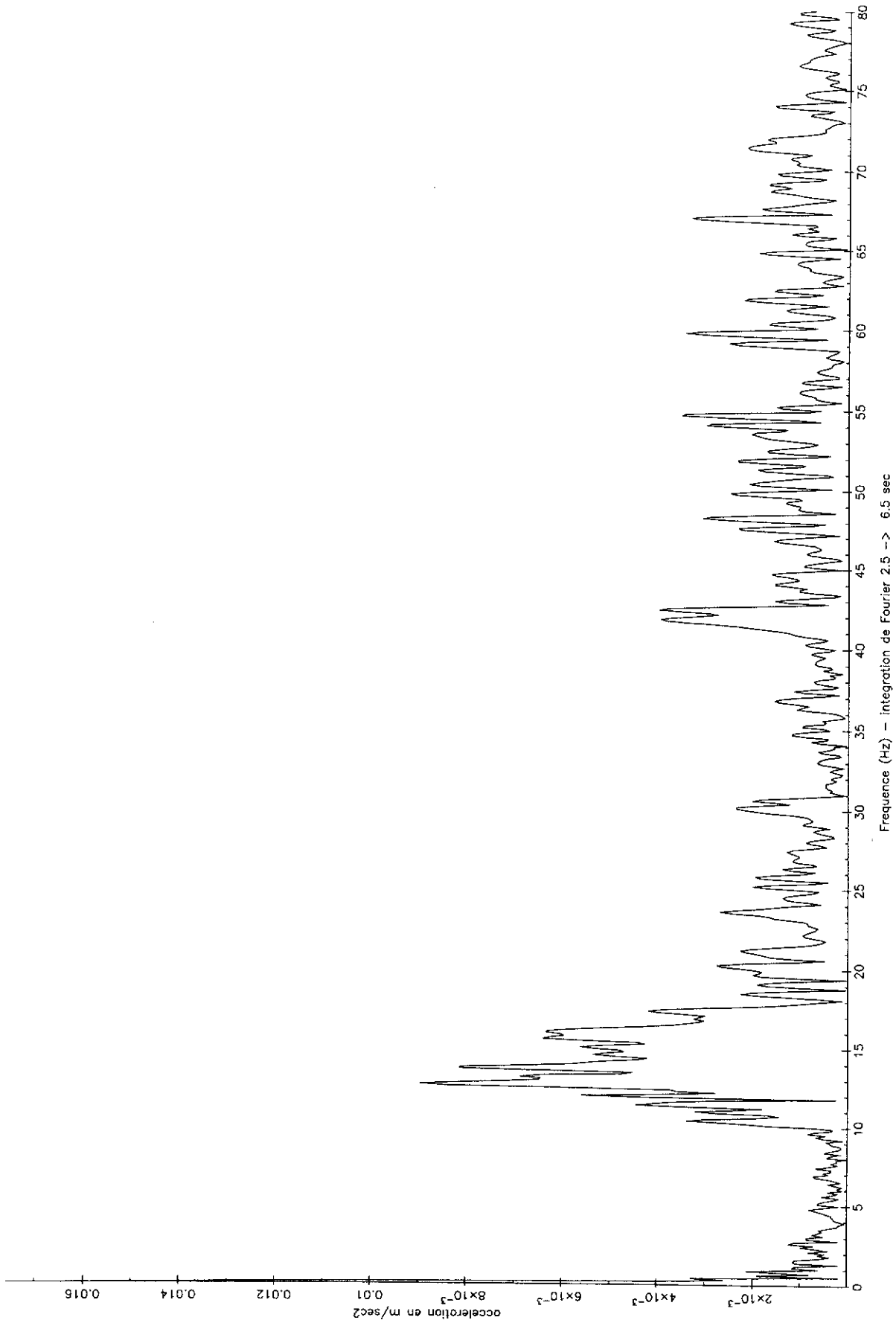
- centre chambre 1er étage direction Z
- centre living rez direction Z
- sol entrée du bâtiment direction Z



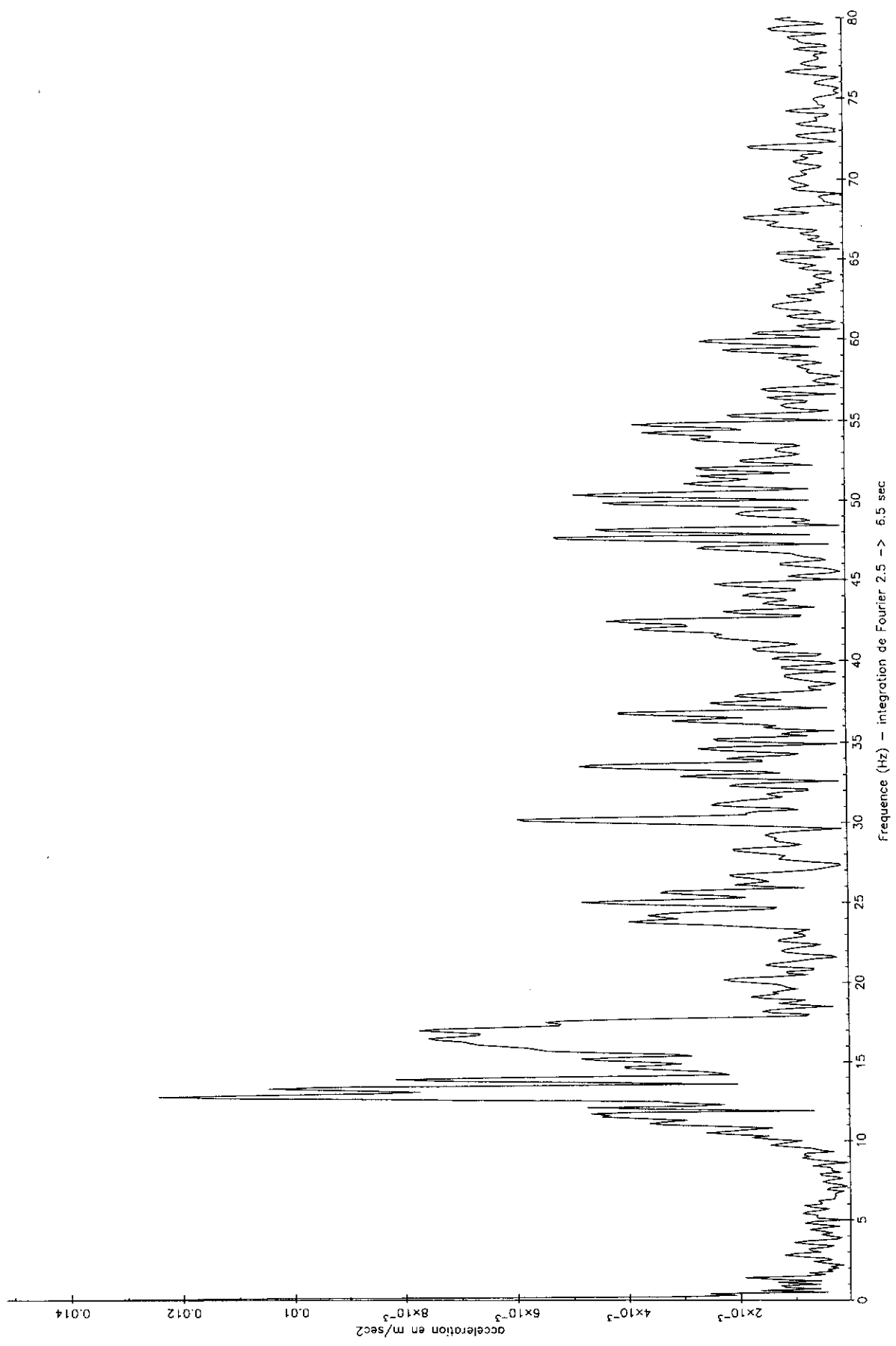
**JAUCHELETTE :**

**Diagrammes fréquentiels pour la direction verticale  
aux trois points de mesure**

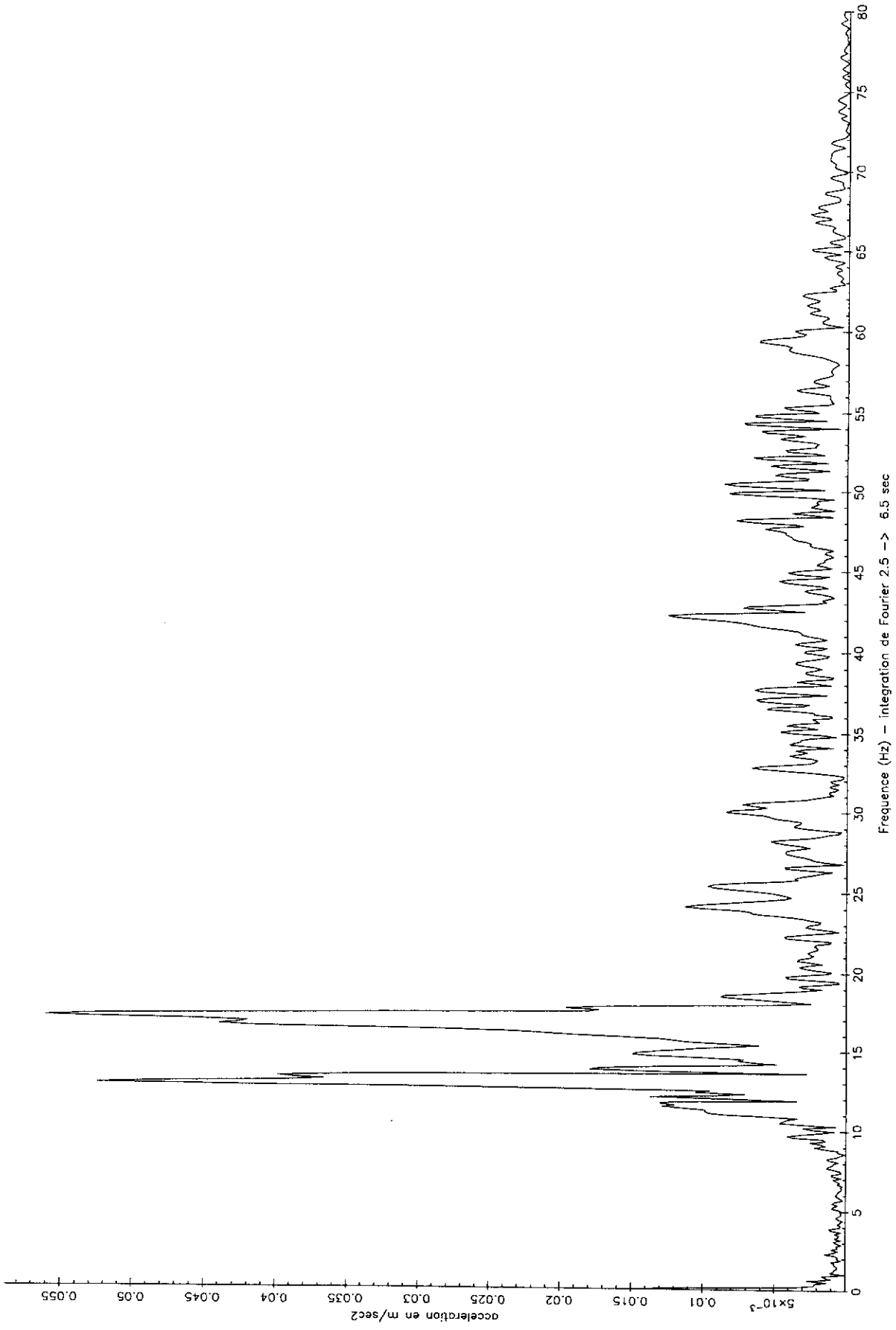
Jouehette chaussee de Charleroi no405



Jouchelette chaussee de Charleroi no405

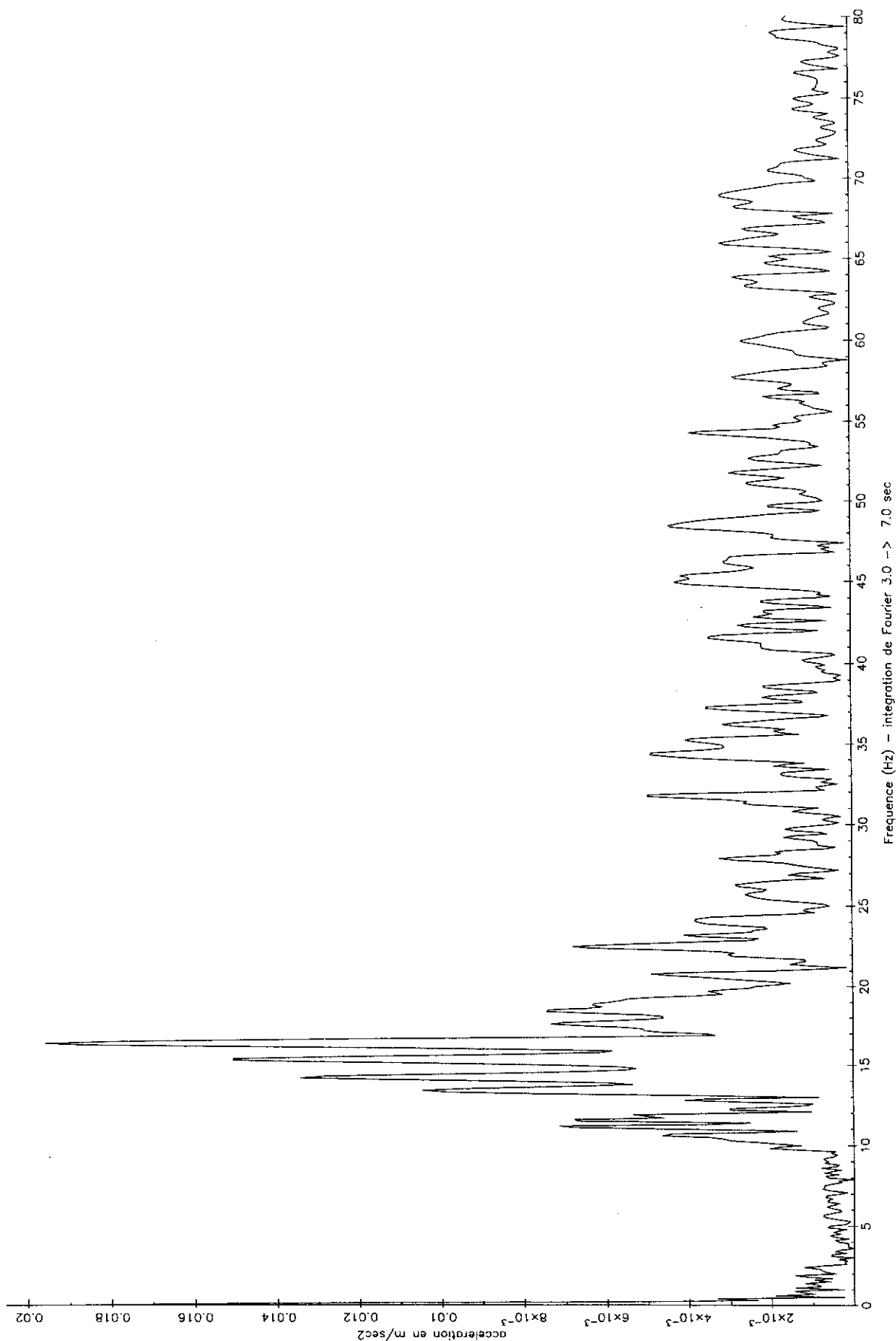


Jauchette chaussee de Charleroi no405

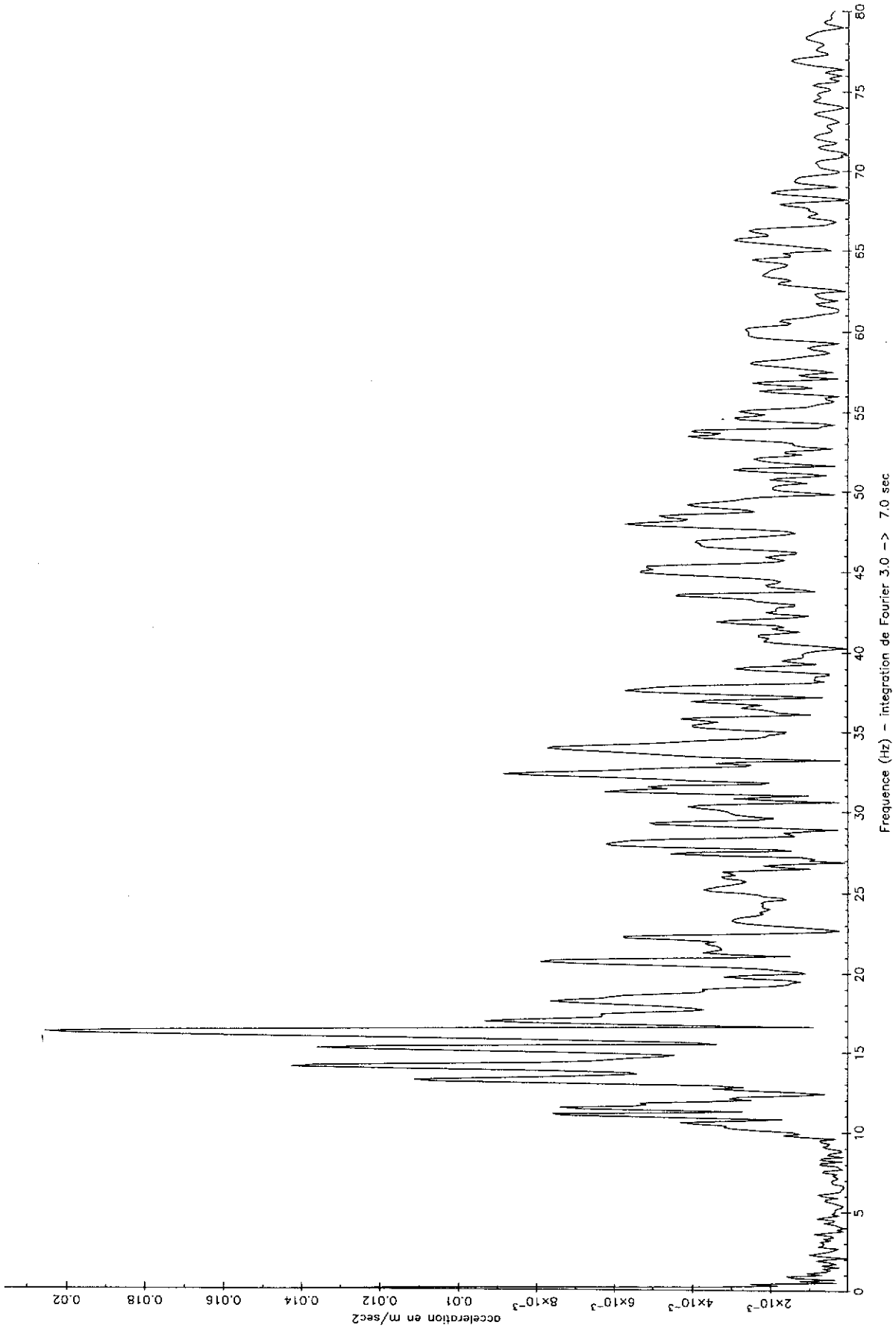




Jauchette chaussee de Charlevoix no.405

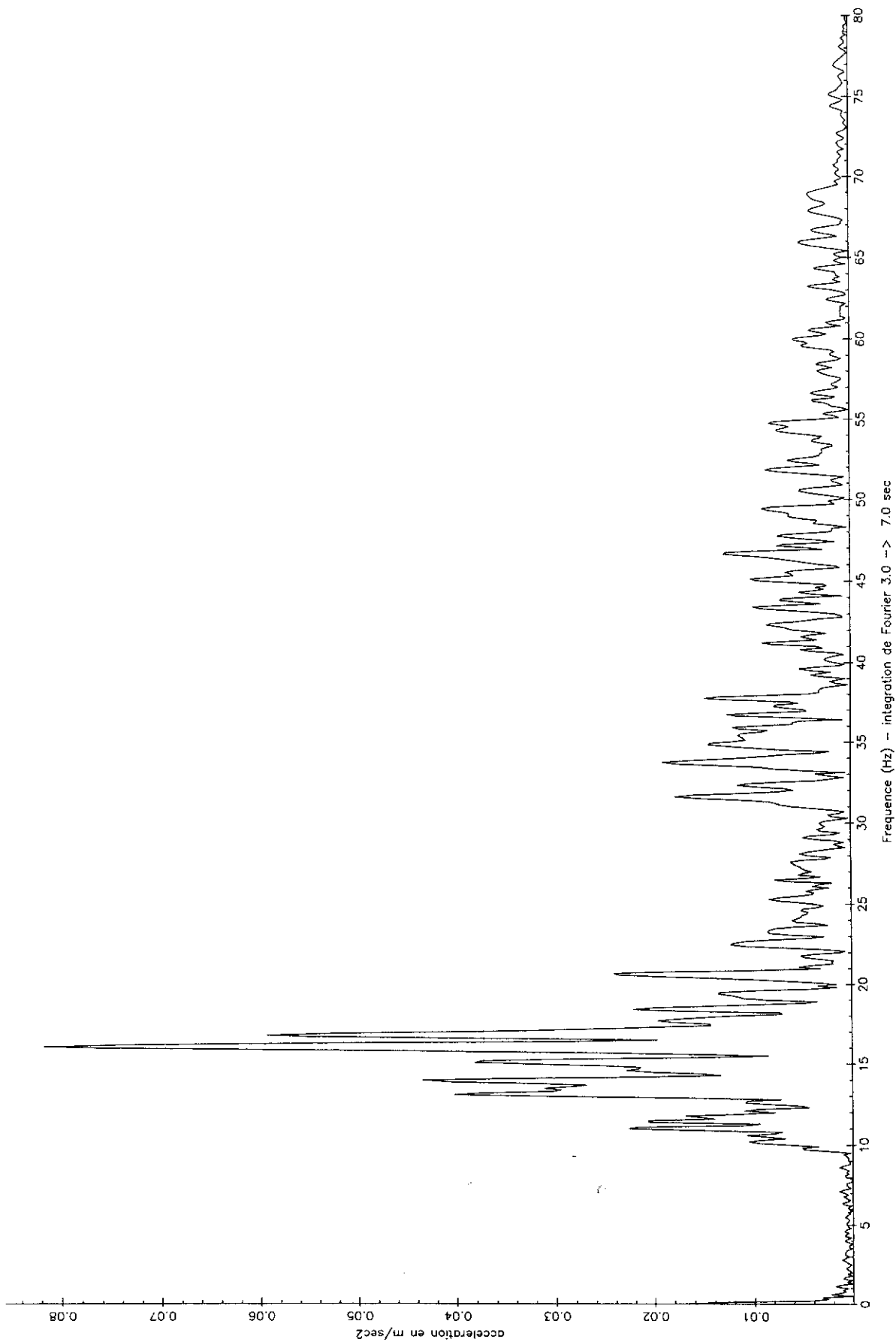


Jauchette choussee de Charleroi no405



TRANS04.ASC

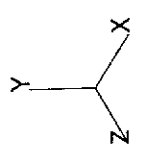
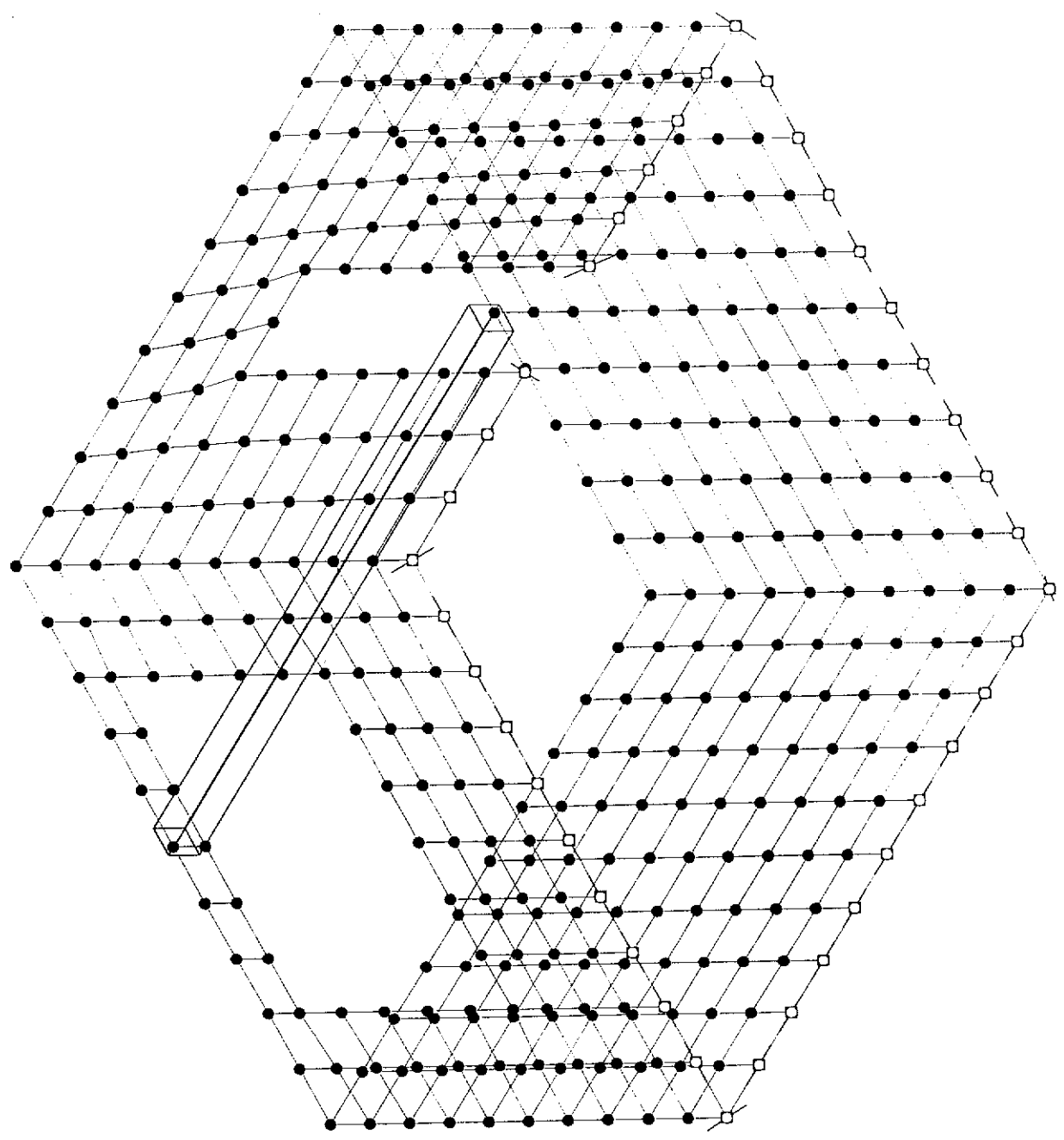
Jauchelette chaussée de Chorleroi no405



**JAUCHELETTE :**

**Calcul des fréquences propres**

- Date 20/05/98 - Fichier Jaucheleite -



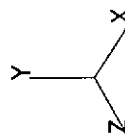
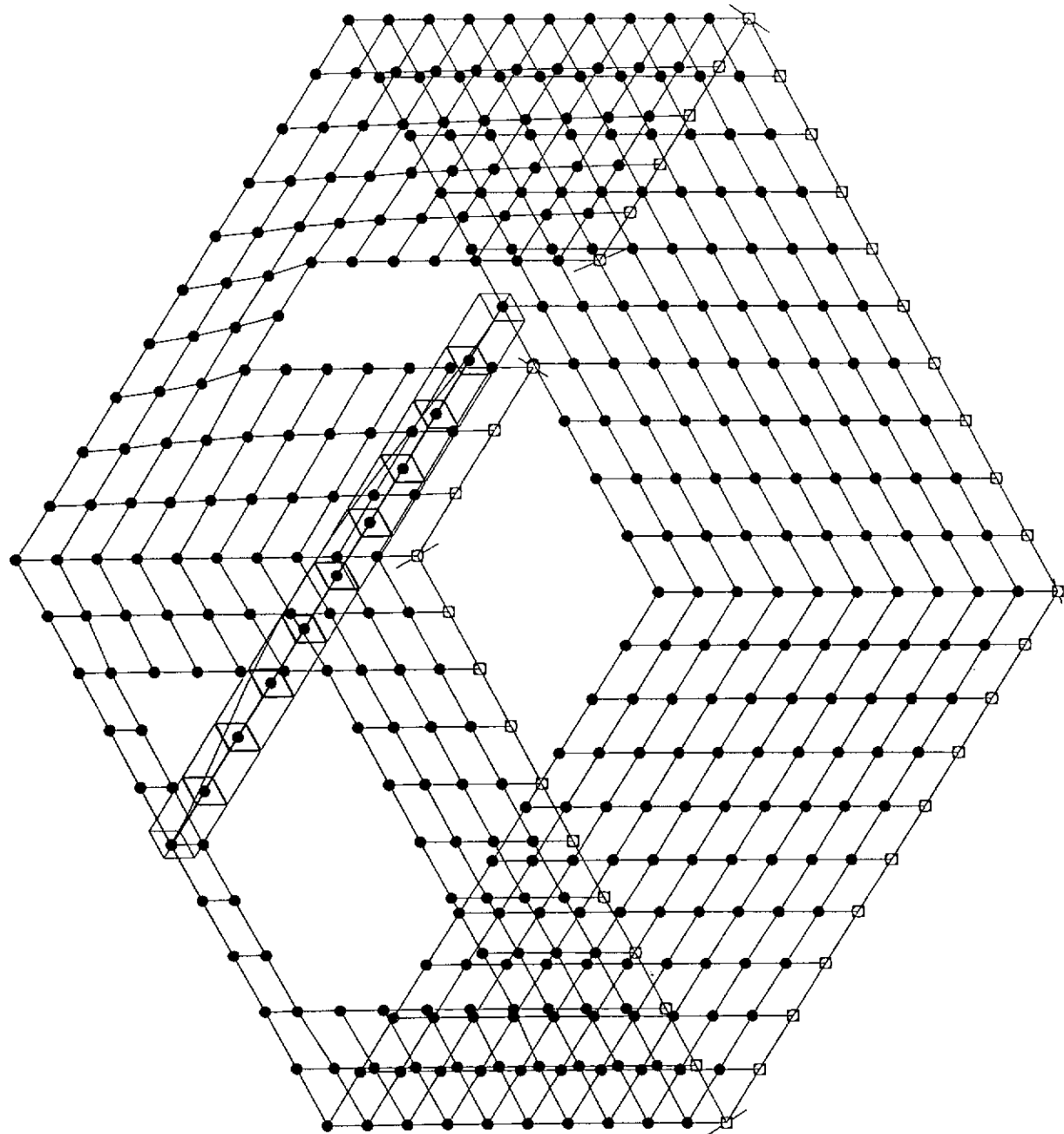
Dynamique  
Mode n°1

Période  
0.042 s

Pulsation  
150.667 rad/s

Fréquence  
23.979 Hz

- Date 20/05/98 - Fichier Jauchette -



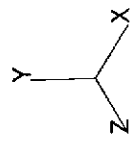
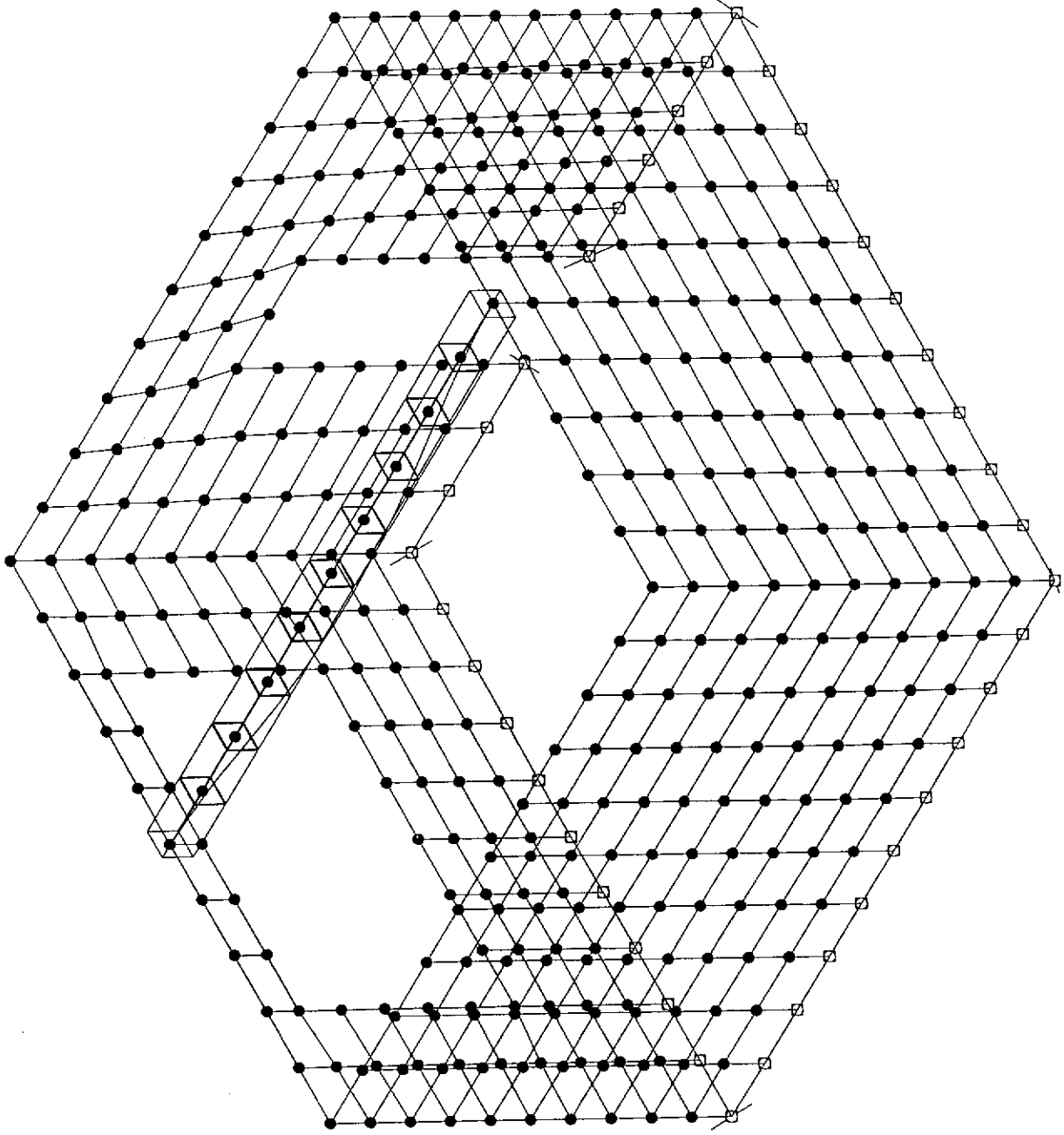
Dynamique  
Mode n°2

Période  
0.041 s

Pulsation  
154.228 rad/s

Fréquence  
24.546 hz

Date 20/05/98 - Fichier Jauchelette



Dynamique  
Mode n°3

Période  
0.029 s

Pulsation  
218.527 rad/s

Fréquence  
34.780 Hz

- Date 20/05/98 - Fichier Lauchelette -

