

Perception des vibrations

E. Parizet

Laboratoire Vibrations Acoustique – INSA Lyon

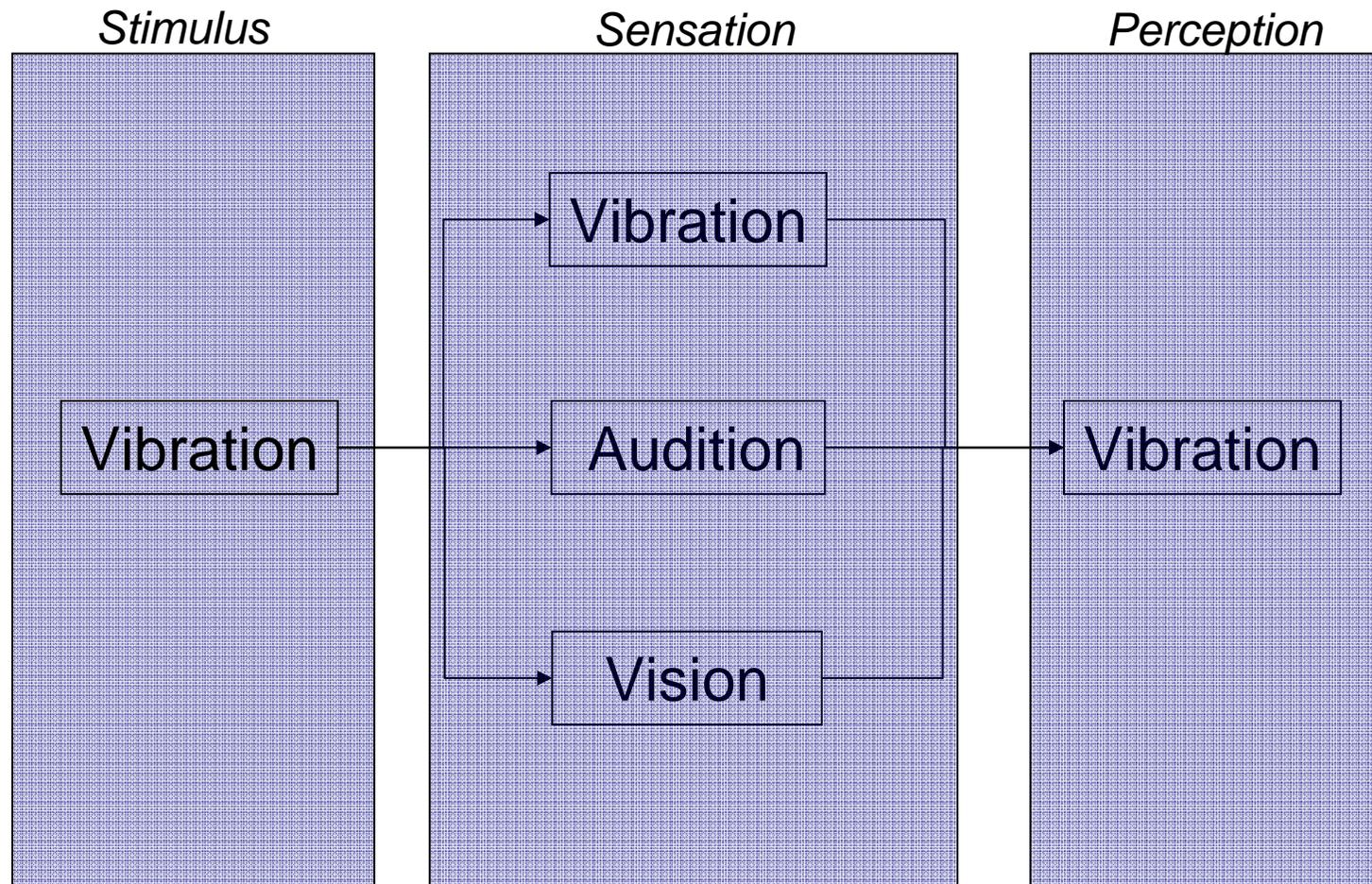
etienne.parizet@insa-lyon.fr



Plan

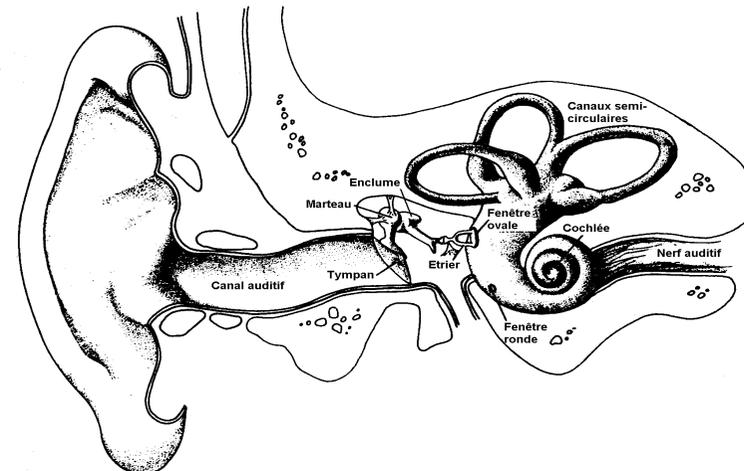
- Une perception complexe...
- Stimuli vibratoires dans le bâtiment
- Un peu de psychophysique
 - Seuil de détection, seuil différentiel;
 - Courbes iso-sensation;
 - Loi niveau – sensation.
- Effets sur l'homme

Une perception complexe...

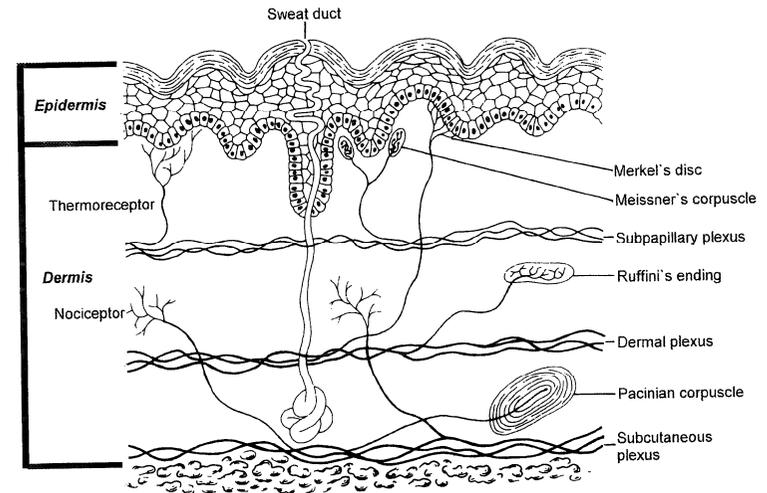


Canaux sensoriels

- Canaux semi-circulaires

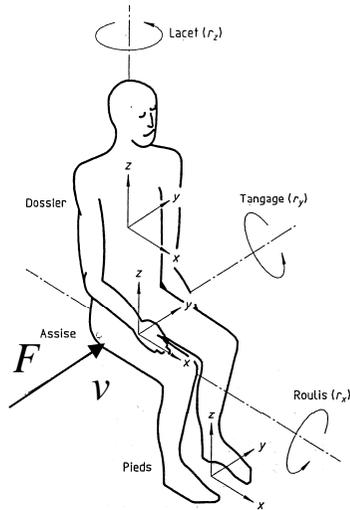


- Proprioception (peau et organes internes)

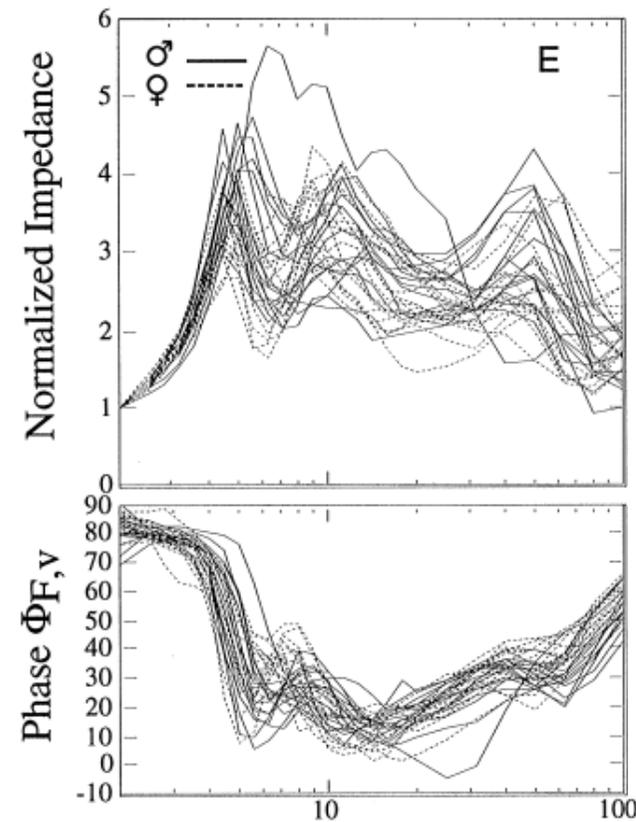


Réponse dynamique du corps humain

- Impédance mécanique du corps humain :
- Pour différentes directions, positions et postures (et amplitudes de l'effort)



$$Z(f) = \frac{F(f)}{v(f)}$$



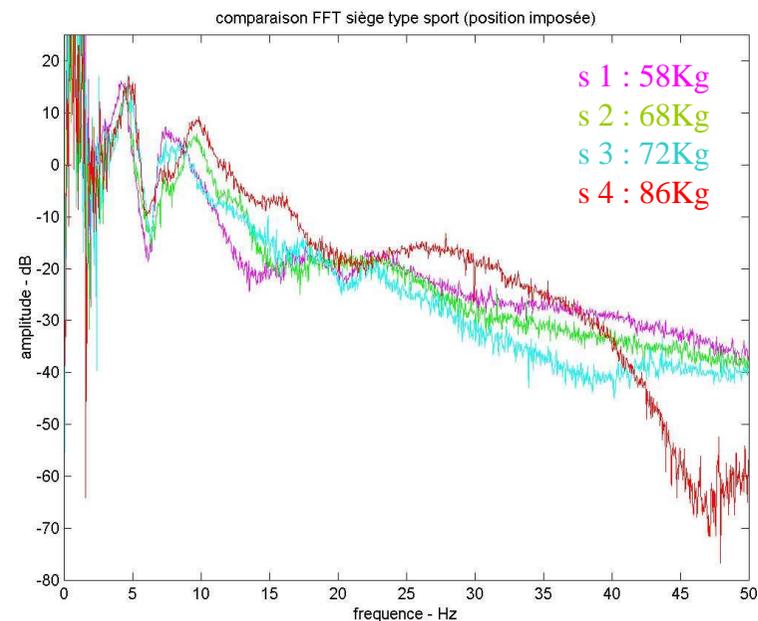
Holmlund et al. *Applied Ergo.* 31 (2000)

Une perception complexe...des expériences complexes !

- Difficile maîtrise des stimuli (exemple : fonctions de transfert de sièges automobiles).



Banc vibratoire LVA



Fonctions de transfert
ped du siége – assise
pour 4 sujets

Expériences en laboratoire

- Sujets sur une surface rigide :
 - Parfait contrôle des stimuli;
 - Généralisation des résultats dans des situations réelles ?

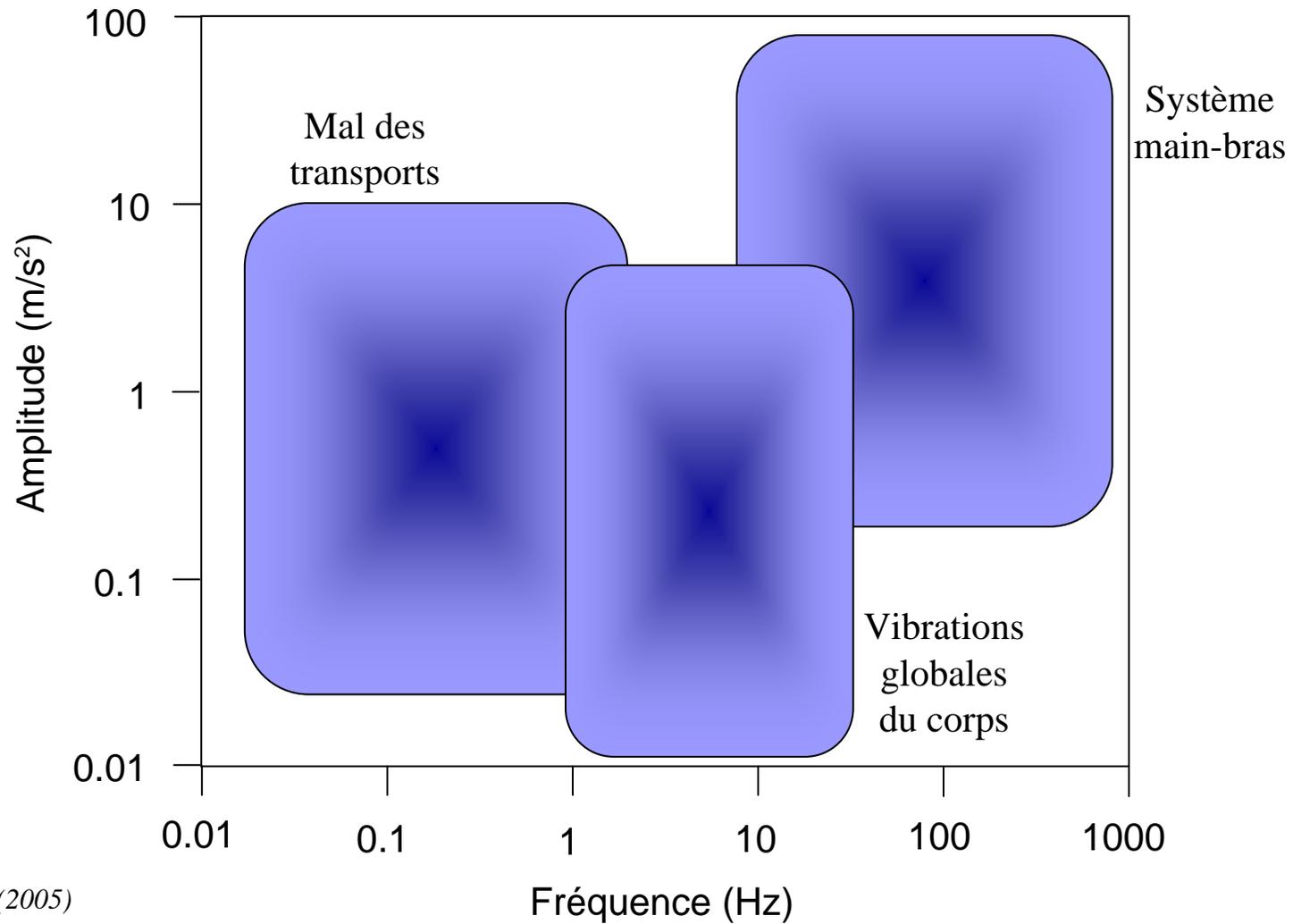


Matsumoto et al., JSV (2011)

Sujet encore ouvert...

- Fothergill L.C, Griffin M.J. "*The subjective magnitude of whole-body vibration*", Ergonomics (1977).
- Howarth H.V.C, Griffin M.J. "*The frequency dependence of subjective reaction to vertical and horizontal whole-body vibration at low magnitudes*", Journal of the Acoustical Society of America (1988).
- Morioka M., Griffin M.J. "*Magnitude-dependence of equivalent comfort contours for fore-and-aft, lateral and vertical whole-body vibration*", Journal of Sound and Vibration (2006).

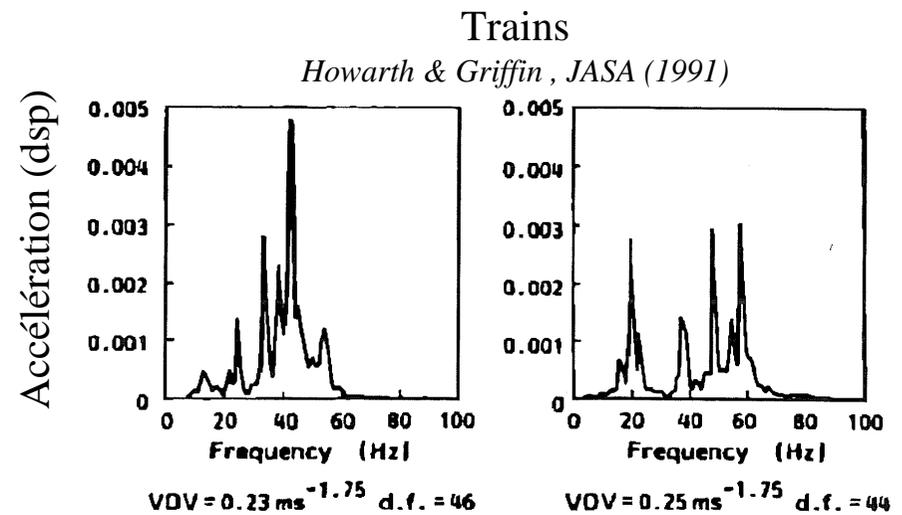
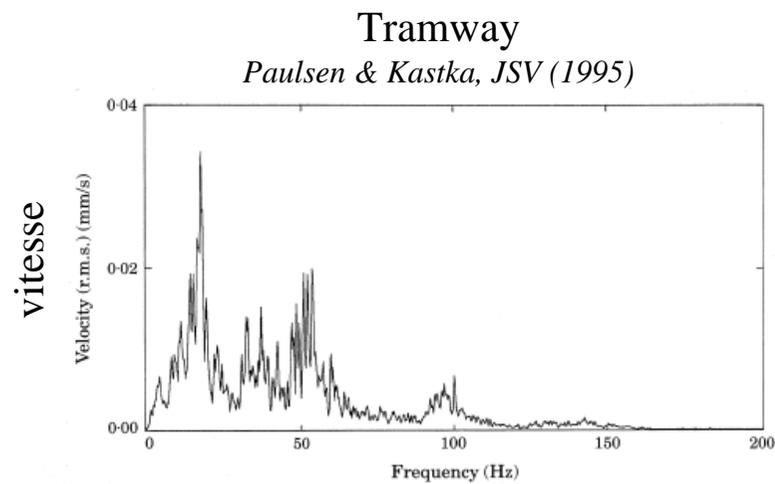
Plages de fréquence et amplitudes



Mansfield, CRC Press (2005)

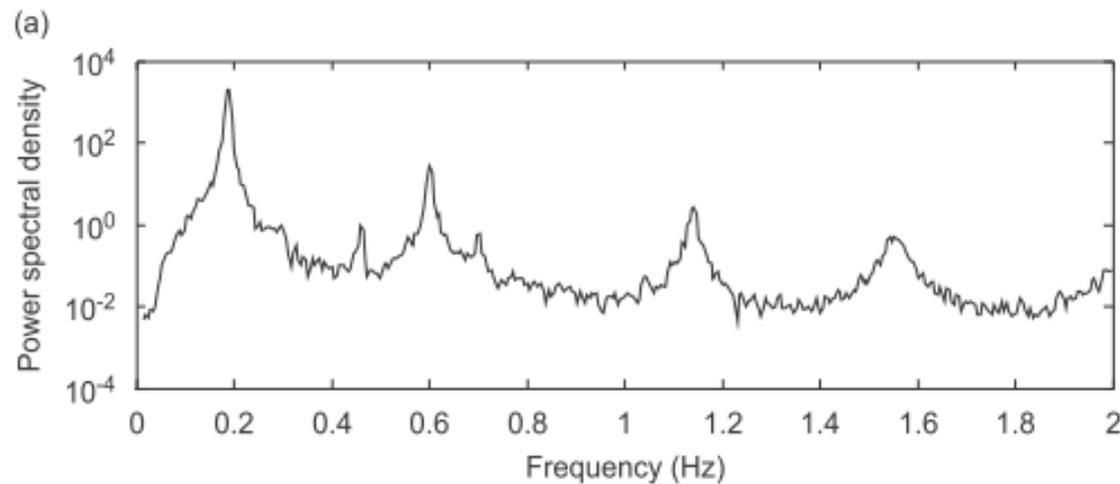
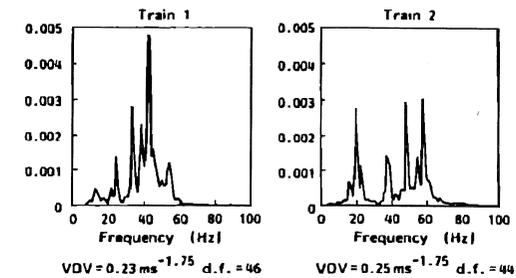
Sources de vibration dans le bâtiment

- Transport : $f > 15$ Hz



Sources de vibration dans le bâtiment

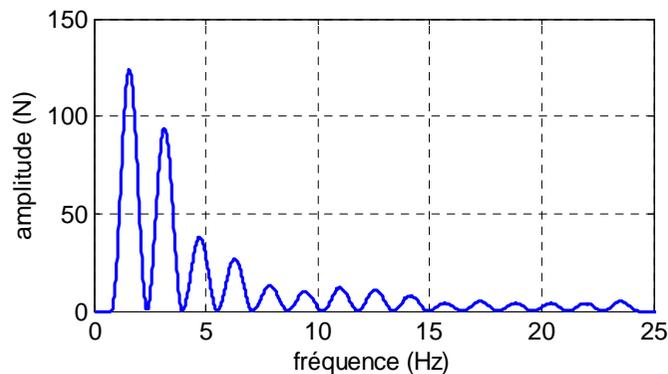
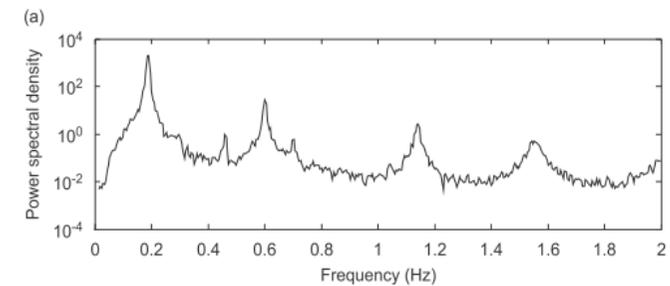
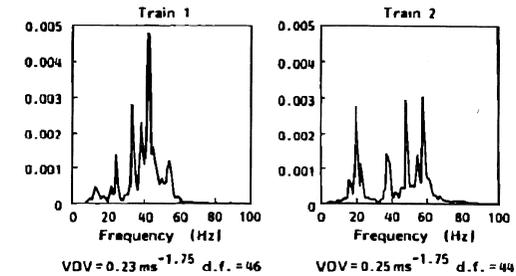
- Transport : $f > 15$ Hz
- Vent (tours) : $f < 1$ Hz



Li et al. JSV (2008)

Sources de vibration dans le bâtiment

- Transport : $f > 15$ Hz
- Vent (tours) : $f < 1$ Hz
- Planchers bois (pas) : $f = 1$ à 2 Hz



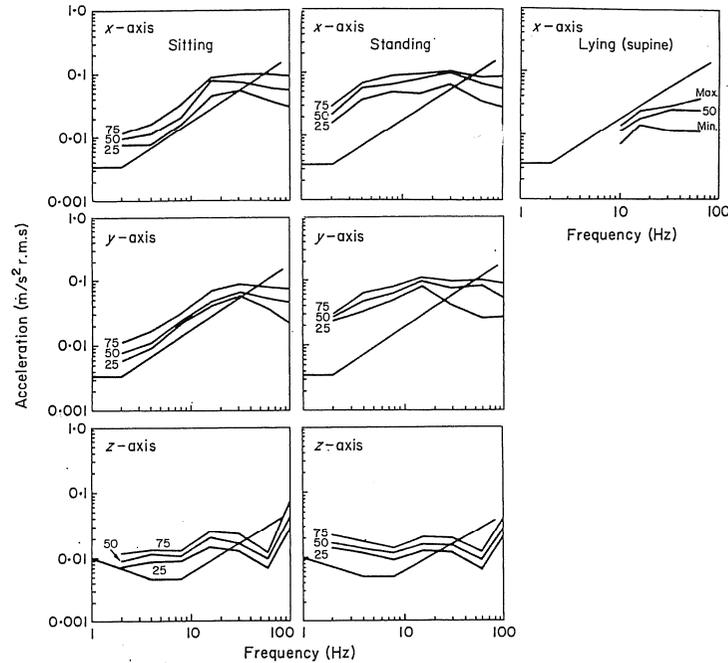
Pavic et al., Cement and Concr. Comp. (2001)

Psychophysique

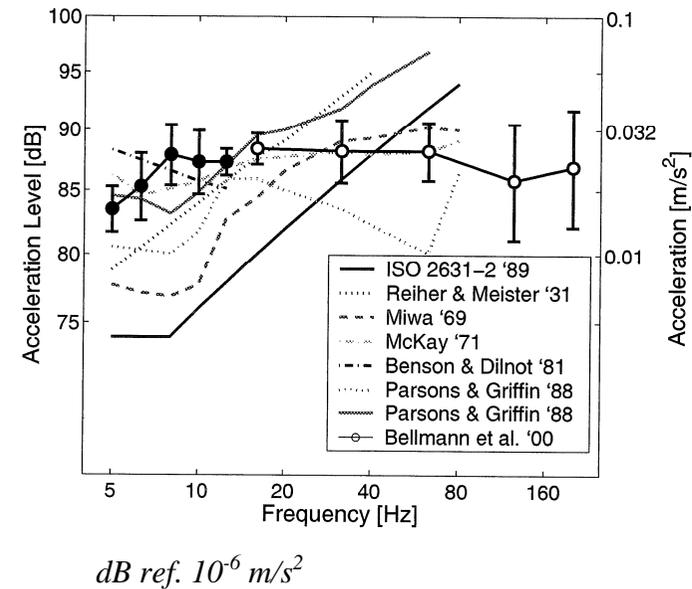
- **Psychophysique** : relation entre un stimulus et la sensation associée.
- Seuils de perception
- Différences de niveau juste perceptibles
- Courbes d'iso-sensation en fréquence
- Relation entre intensités physique et subjective

Seuils de perception

Parsons & Griffin, JSV 121 (1988)



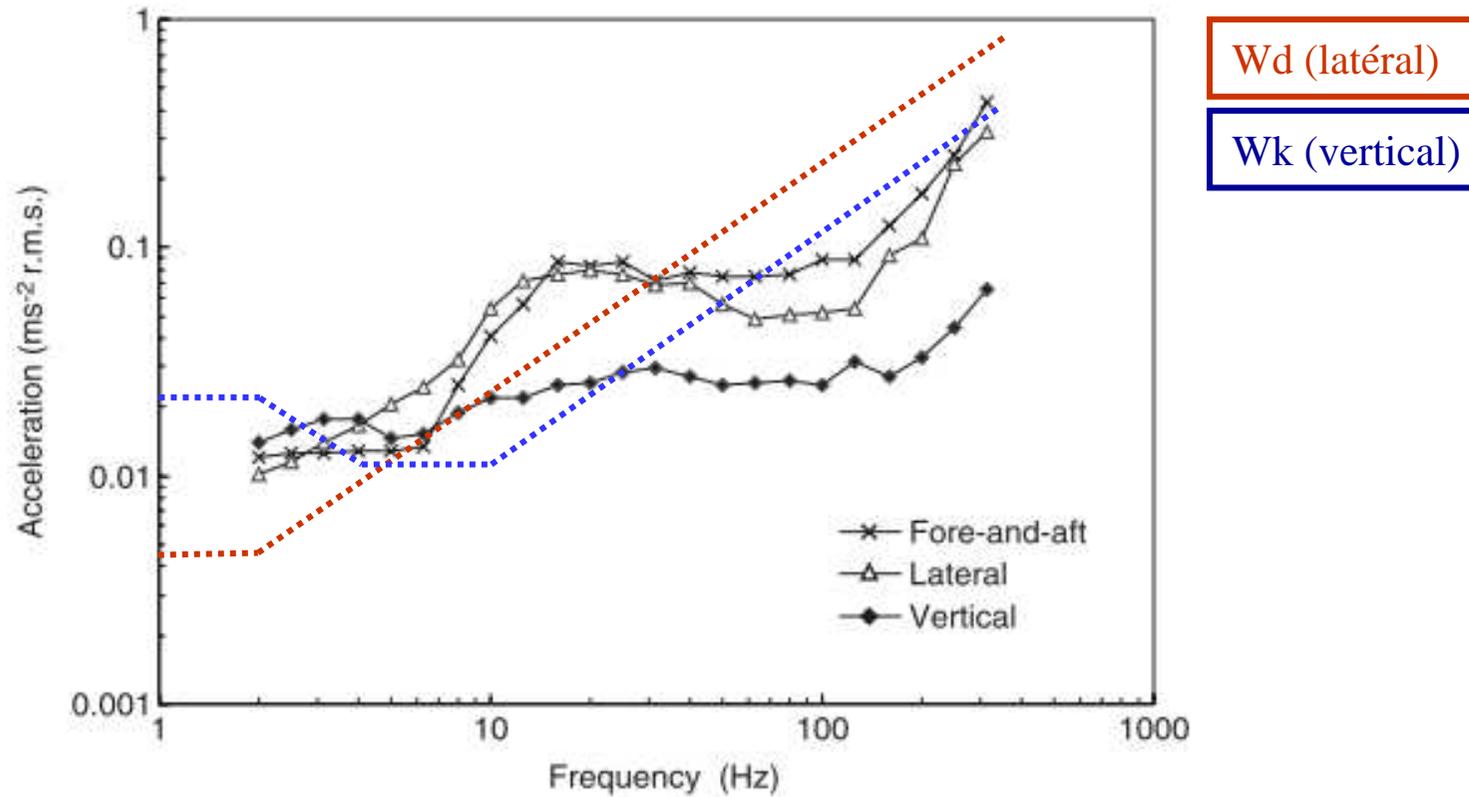
Bellmann, PhD Univ. Oldenburg (2002)



- Variabilité expérimentale ! (sujets, procédure...)
- Valeur typique : 0.02 m.s^{-2}
- Vertical : faible dépendance fréquentielle

Seuils de perception

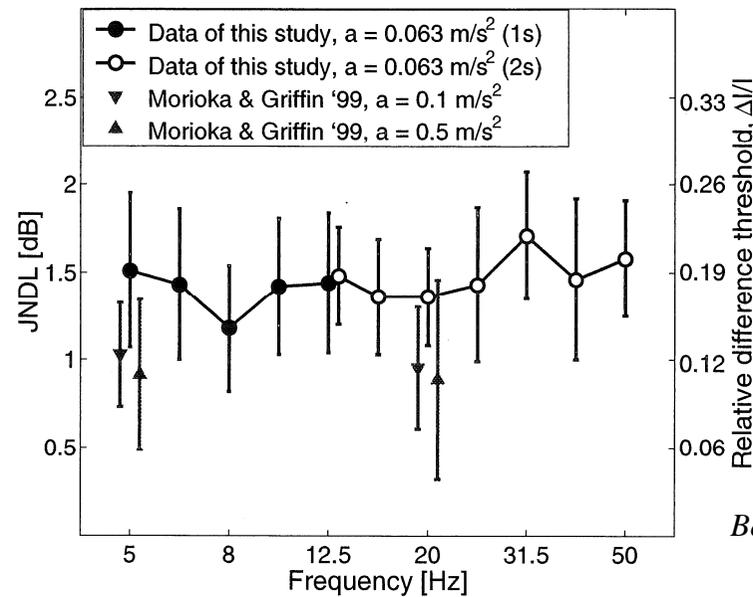
- Autres résultats : Morioka & Griffin (JSV 2006)



- Les pondérations normalisées sont discutables !

Seuil de détection de différence de niveau

- Différence "juste perceptible" (*JND : just-noticeable difference*)

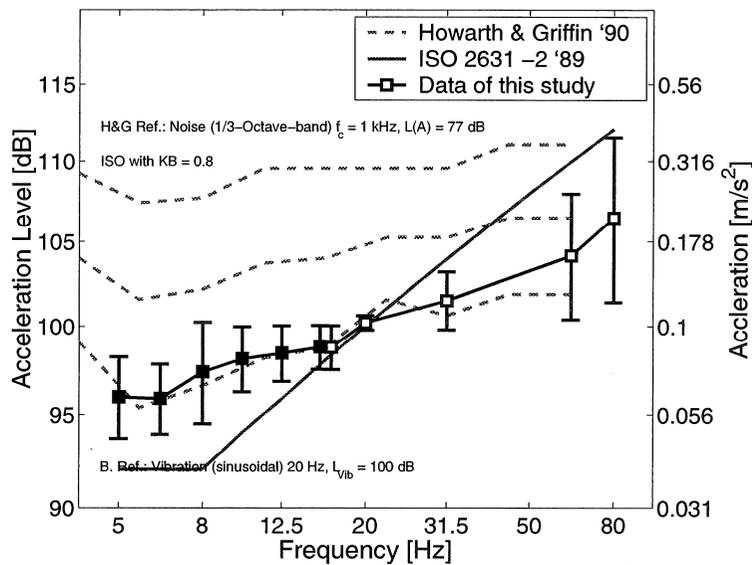


Bellmann, PhD Univ. Oldenburg (2002)

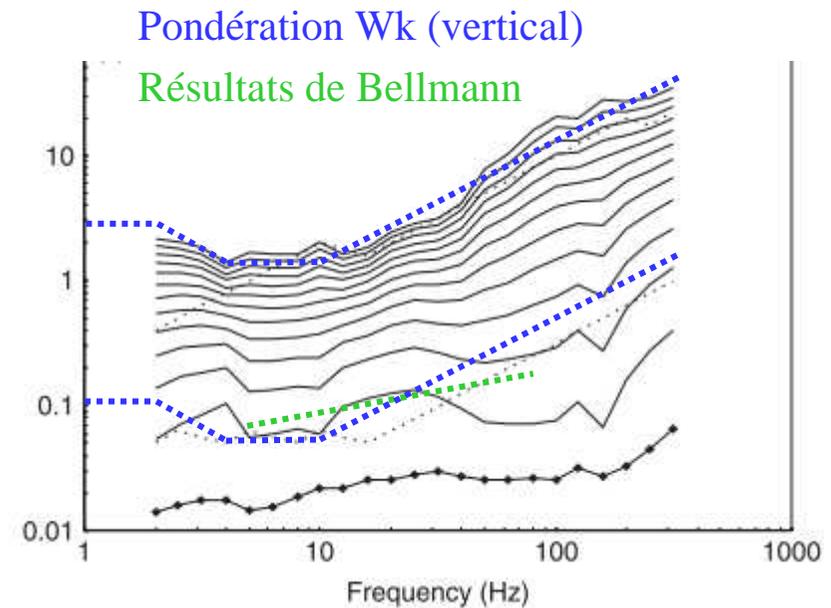
- $\Delta I/I \approx 1.5$ dB (loi de Weber)

Courbes d'iso-sensation

- Référence : 20 Hz, 100 dB (0.1 m/s²), vertical.
- Ajustement du niveau d'une autre fréquence pour égaler la sensation.



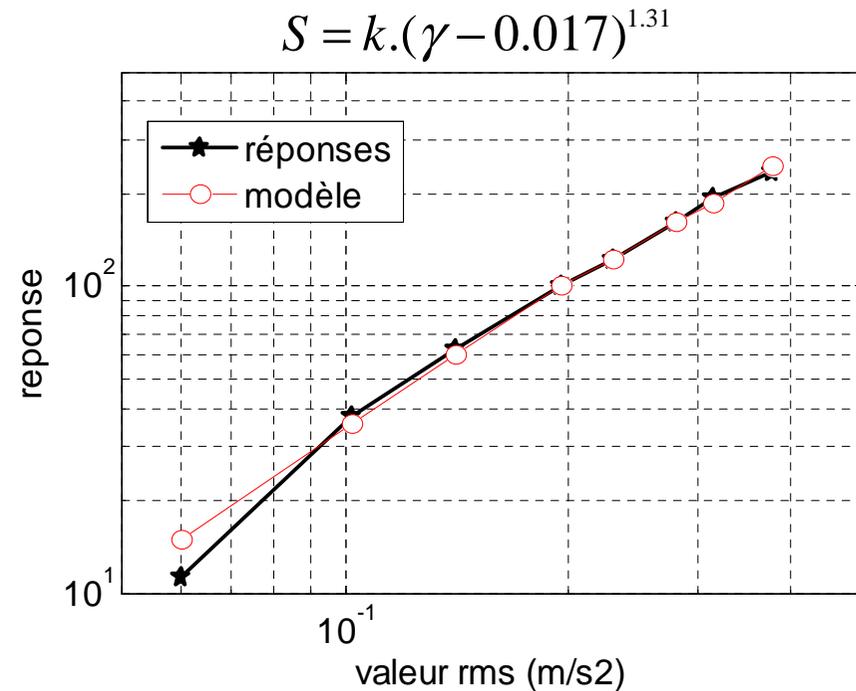
Bellmann, PhD Univ. Oldenburg (2002)



Morioka & Griffin, JSV (2006)

Relation $sensation = \phi(\text{niveau})$

- Estimation de grandeur
 - référence : 10 Hz, 0.1962 m/s² (sensation = 100);
 - stimuli tests : estimation de l'intensité de la sensation;
 - 20 sujets, 4 répétitions.



- Sensation $\approx k. \gamma^{1.3}$ (loi de Stevens)

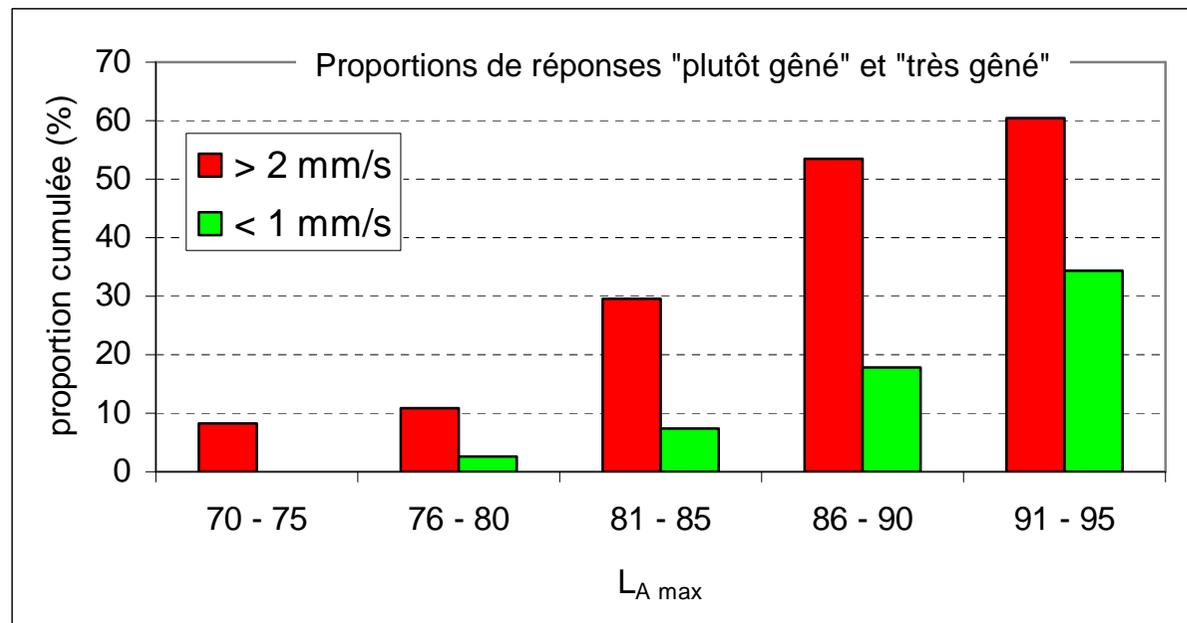
Etude Insa-Lva (2006)

Effet des vibrations

- Santé
 - Amplitudes trop faibles dans les bâtiments
- Confort
- Gêne

Influence des vibrations sur le confort ?

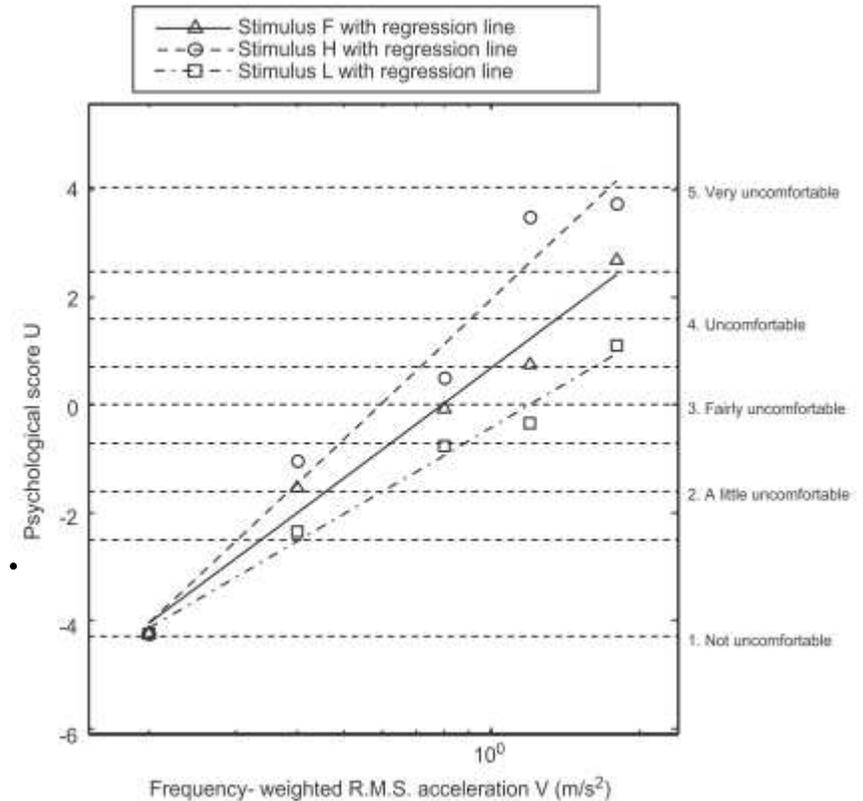
- Evaluation de la gêne par riverains de lignes de chemin de fer;
- Deux catégories : **faibles vibrations** / **fortes vibrations**



Öhrström, JSV (1997)

Evaluation du confort vibratoire

- 3 allures spectrales de stimuli vibratoires 1-100 Hz;
- Egalisation des niveaux pondérés ($0.2 - 1.8 \text{ m/s}^2$);
- Estimation du confort.
- Estimations différentes selon le signal : pondération peu précise....



Maeda et al., *Int. J. Ind. Erg.* (2008)

Confort vibro-acoustique dans une voiture

- 100 stimuli (4 autos, 5 niveaux vibratoires, 5 niveaux acoustiques);
- Restitution en laboratoire;

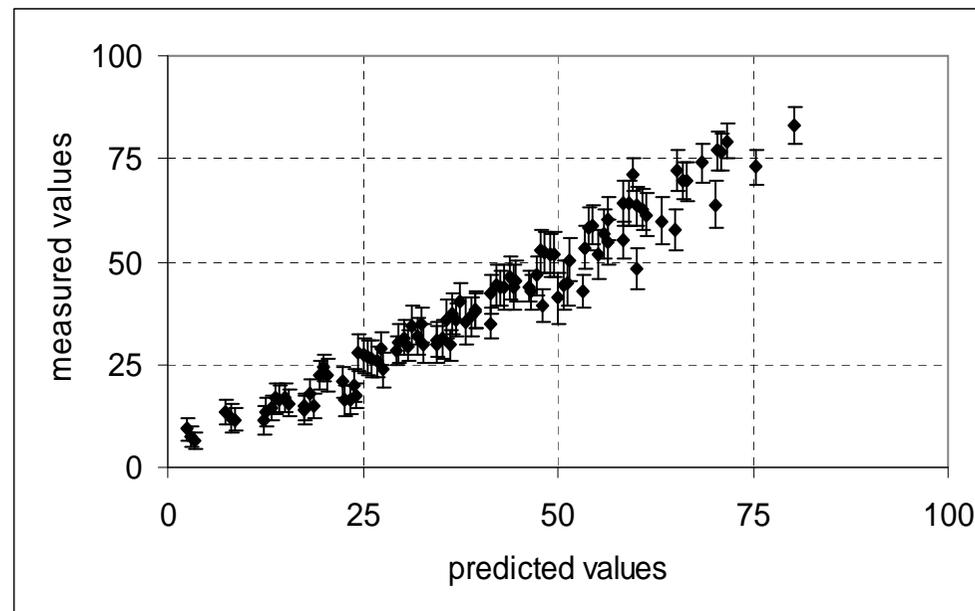


- Estimation du confort (68 sujets)

Etude Insa-Lva (2009)

Confort vibro-acoustique dans une voiture

- Modèle additif : $C = a - 1.7 L_{\text{dB(A)}} - 4.L_v$ [dB(A) , dB]
- Vibration + 20 dB \approx bruit + 46 dB



*M. Amari : thèse INSA-Lyon
(PSA), 2009*

- Modèles équivalents dans le bâtiment :
 - Howarth & Griffin, Jasa (1991) : trains
 - Paulsen & Kastka, Jsv (1995) : tramways

Confort vibratoire dans le bâtiment

- Critères de confort vibratoire selon Eurocode 5 :

- Première fréquence de résonance

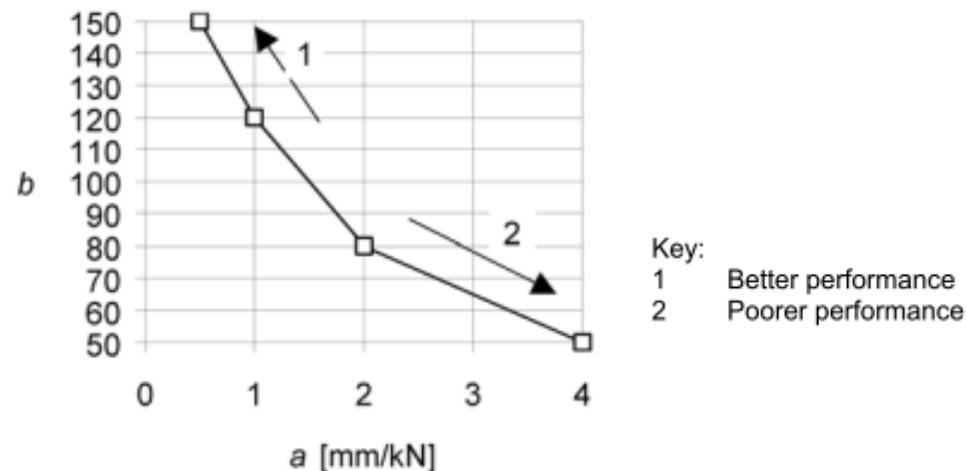
$$f_1 > 8 \text{ Hz}$$

- Déflexion verticale statique

$$\frac{u}{F} \leq a \text{ [mm]}$$

- Déflexion dynamique (effort unitaire)
(z : amortissement modal)

$$v \leq b^{(f_1 \cdot z - 1)} \text{ [m/(N.s}^2\text{)]}$$



- Effet des vibrations sur performances :
 - Écriture
 - Vision
 - Mémorisation
- Mais à niveau élevé (par ex., 16 Hz, 2 m/s² soit 126 dB).
- Pour des niveaux plus faibles et des durées d'exposition plus longues : question encore ouverte.

Nakashima & Cheung, DRDC report (2006)

Sherwood et Griffin, JSV (1992)

Conclusion

- Psychophysique des vibrations encore mal connue.
- Mesures des niveaux d'exposition difficiles.
- Confort : effet aggravateur des vibrations
 - Des modèles additifs vibration - bruit semble convenables.
- Gêne : a priori peu d'effet aux niveaux usuels
 - Attention au cas des planchers bois (bureaux).