

Gêne acoustique dans les bureaux ouverts

Etienne Parizet¹, Patrick Chevret², Marjorie Pierrette¹,
Ange Ebissou^{1,2}, Krist Kostallari^{1,2}, Laurent Brocolini¹

1 : Univ. Lyon, Laboratoire Vibrations Acoustique, INSA-Lyon

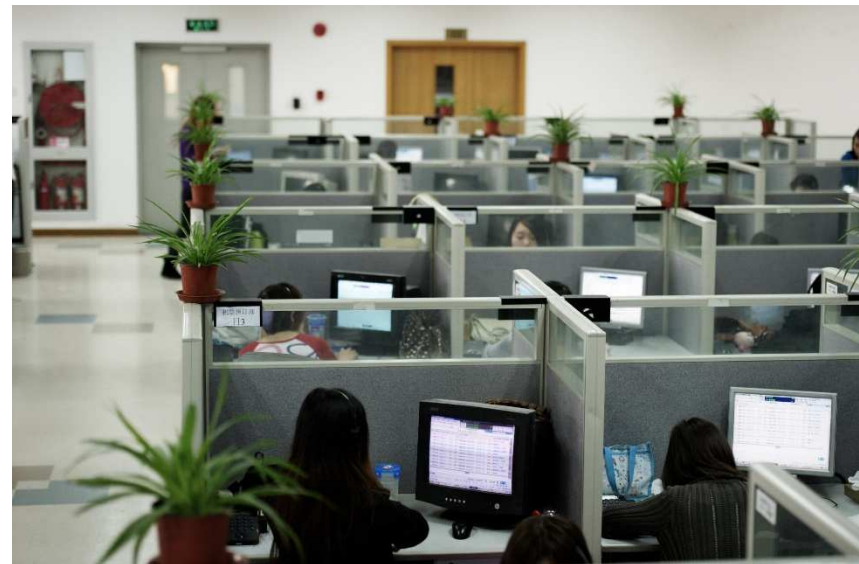
2 : Institut National de Recherche et Sécurité, Nancy



Bureaux ouverts...

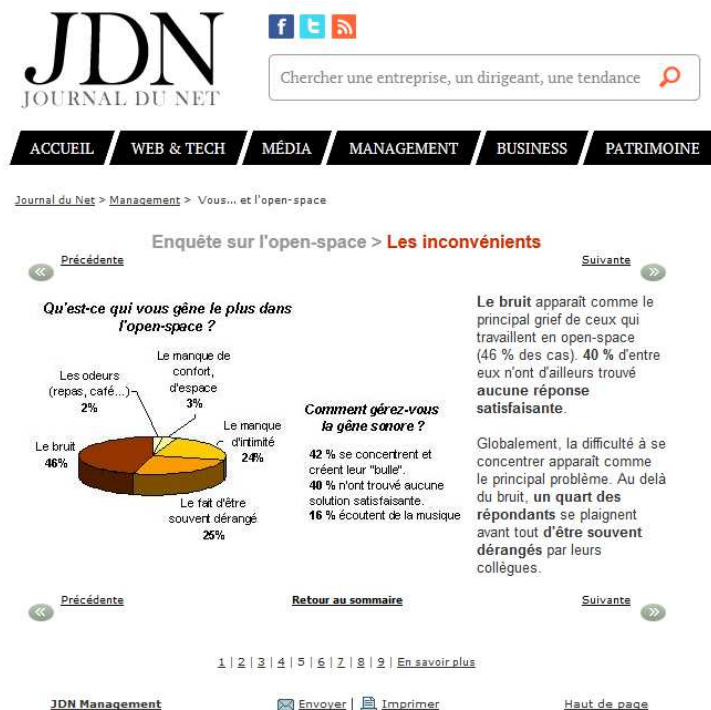


...ou paysagers

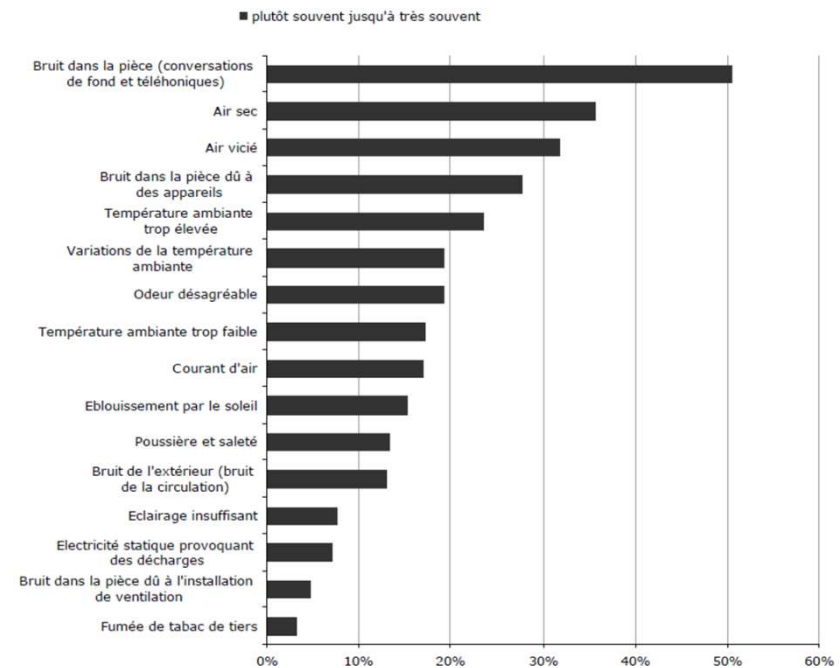


Gêne acoustique dans les bureaux ouverts

- Niveau global plutôt faible : < 60 dB(A)...
....mais les occupants se plaignent du bruit



(mars 2006)



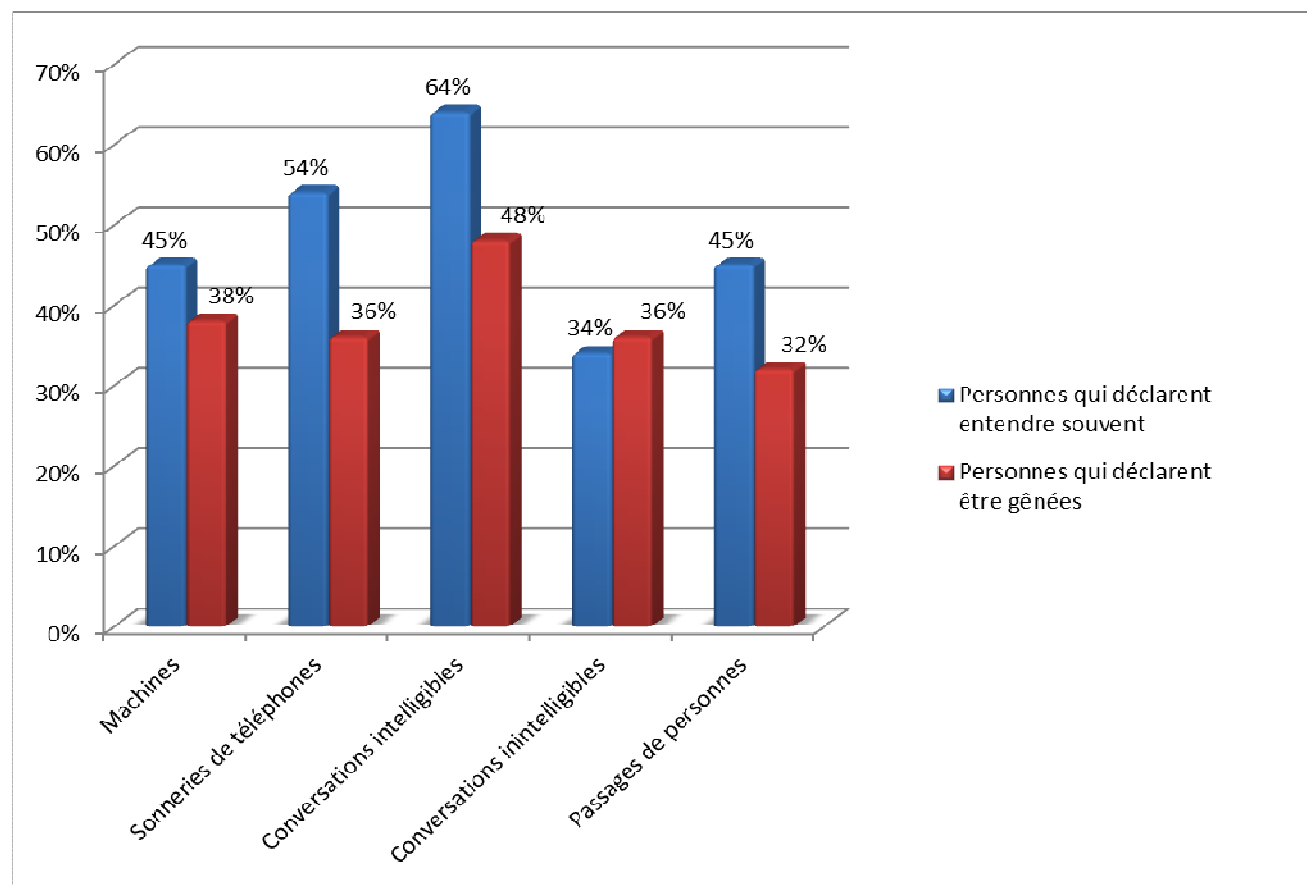
(Enquête SBiB, 2010)

Questionnaire GABO

- Gêne Acoustique dans les Bureaux Ouverts
 - Développé dans le cadre d'un projet ANSES (2012 – 2015)
 - Intégré dans la norme NF S31 – 199 (2016) : *performances acoustiques des espaces ouverts de bureaux*
 - Questions sur environnement de travail, sources de bruit entendues et gênantes, tâches perturbées....

Sources de bruit

- A partir de 650 réponses :



Pierrette et al., Ergonomics 58 (2015)

Rôle particulier de la parole

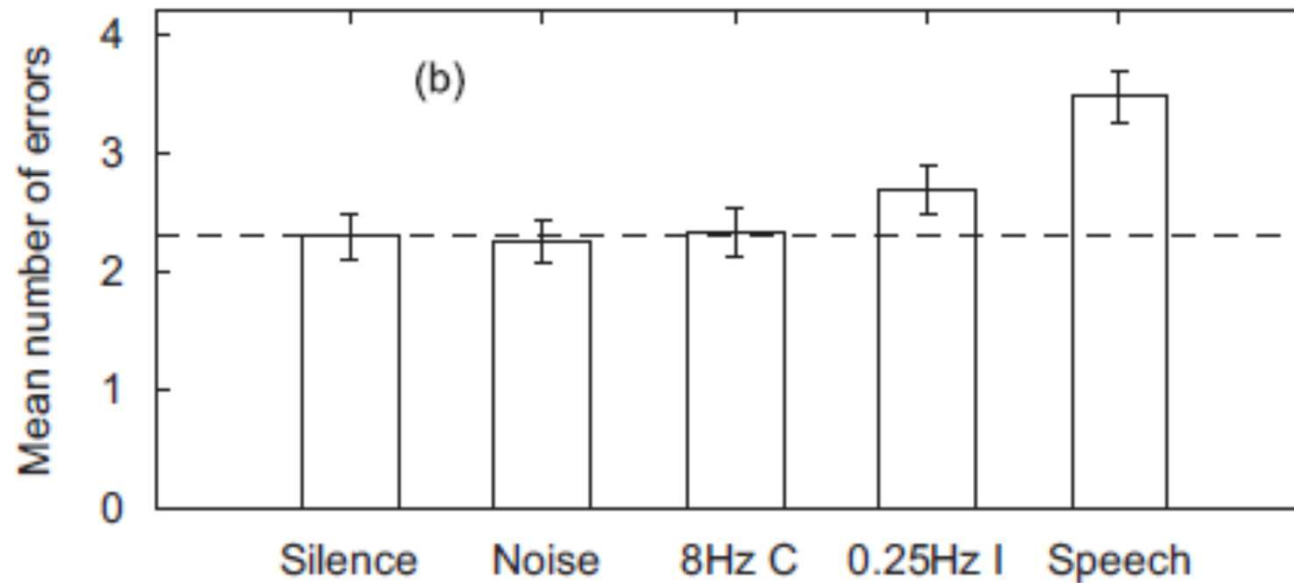
- Exemple d'étude en laboratoire : Zimmer et al. (JSV 311, 2008)
 - Tâche de sériation : 9 chiffres présentés visuellement (1 s.). Pause 5s. Restitution de l'ordre de présentation.

sériation

- Conditions : silence, bruit blanc, bruit modulé continu, bruit modulé interrompu, parole.
- 15 répétitions par condition (7 minutes).
- 32 participants

Rôle particulier de la parole

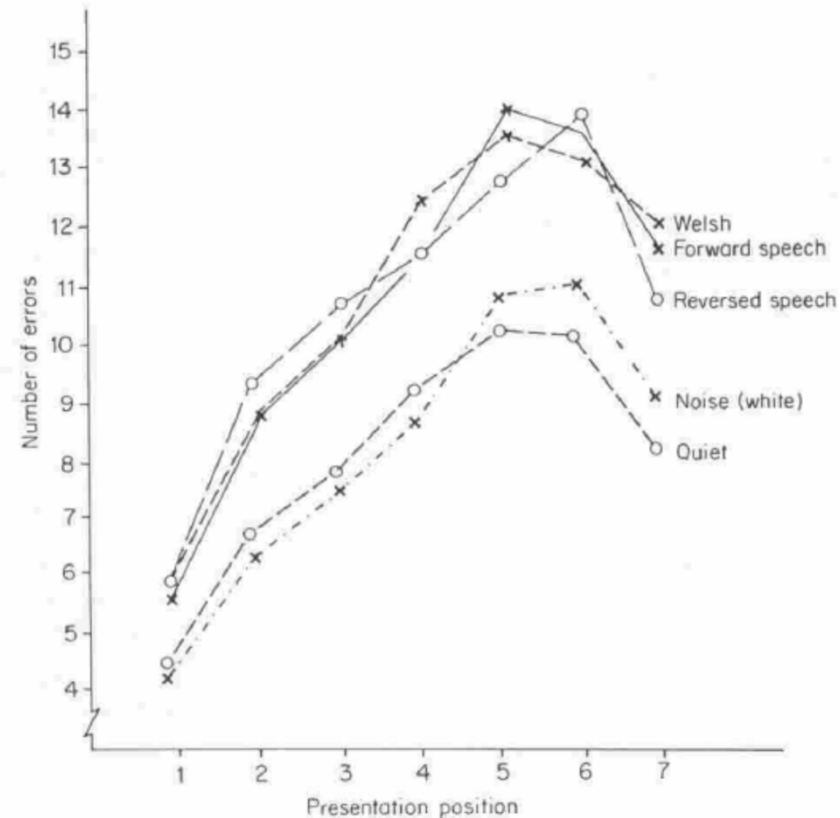
- Résultats : le signal de parole dégrade la performance



(Zimmer et al., JSV 311, 2008)

De l'ISE à l'ISE...

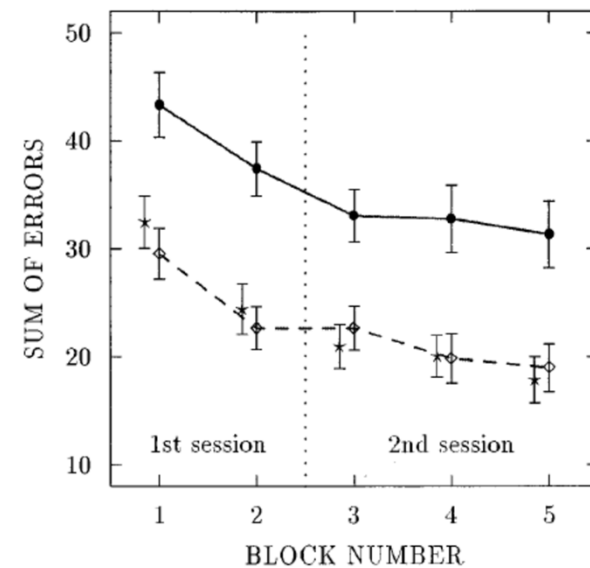
- Irrelevant Speech (Sound) Effect
- Jones et al. (1990)
- Présentation de 7 lettres (0.8 s – 10 s)
- 5 conditions :
 - Silence
 - Bruit blanc 70 dB
 - Anglais
 - Anglais inverse
 - gallois



Irrelevant Sound Effect

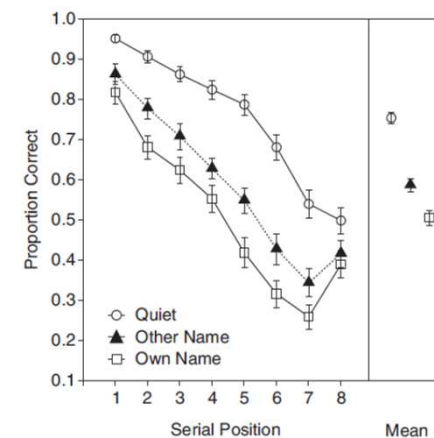
- La variabilité des caractéristiques acoustiques d'un signal augmente ses capacités de distraction
- Il semble que :
 - le niveau global n'a pas d'influence
 - si la performance s'améliore avec l'entraînement, l'effet du signal perturbateur reste constant

(Ellermeier, JASA 1997)



Irrelevant Sound Effect

- La variabilité des caractéristiques acoustiques d'un signal augmente ses capacités de distraction
- Il semble que :
 - le niveau global n'a pas d'influence
 - si la performance s'améliore avec l'entraînement, l'effet du signal perturbateur reste constant
 - pas d'influence du contenu sémantique du bruit
 - Mais Roer et al., J. Cogn. Psych. (2013)

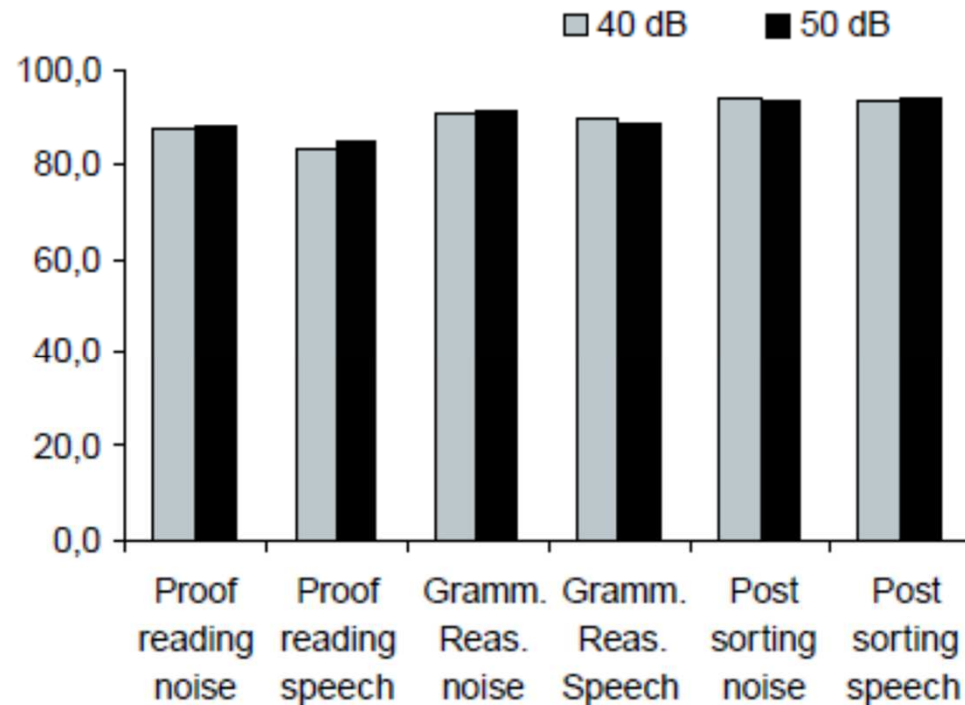


Irrelevant sound effect

- Mécanismes proposés :
 - Détournement de l'attention
 - Par la variabilité du flux auditif
 - (Hughes 2005) : [vik]/[fuz]/[zyt].. > [fɛt]/[fɛm]/[fɛz]... > [fɛg]/[fɛg]/[fɛg]...
 - Par le contenu sémantique
 - (Röer 2013 : nom du participant)
 - Interférence des processus de traitement :
 - Par similarité des processus mis en jeu (analyse du signal sonore / mémorisation des items).
 - Par similarité des contenus (tâche / distracteur)
 - (Marsh 2012) : écoute de mots de même catégorie que ceux à mémoriser.

Choix de la tâche

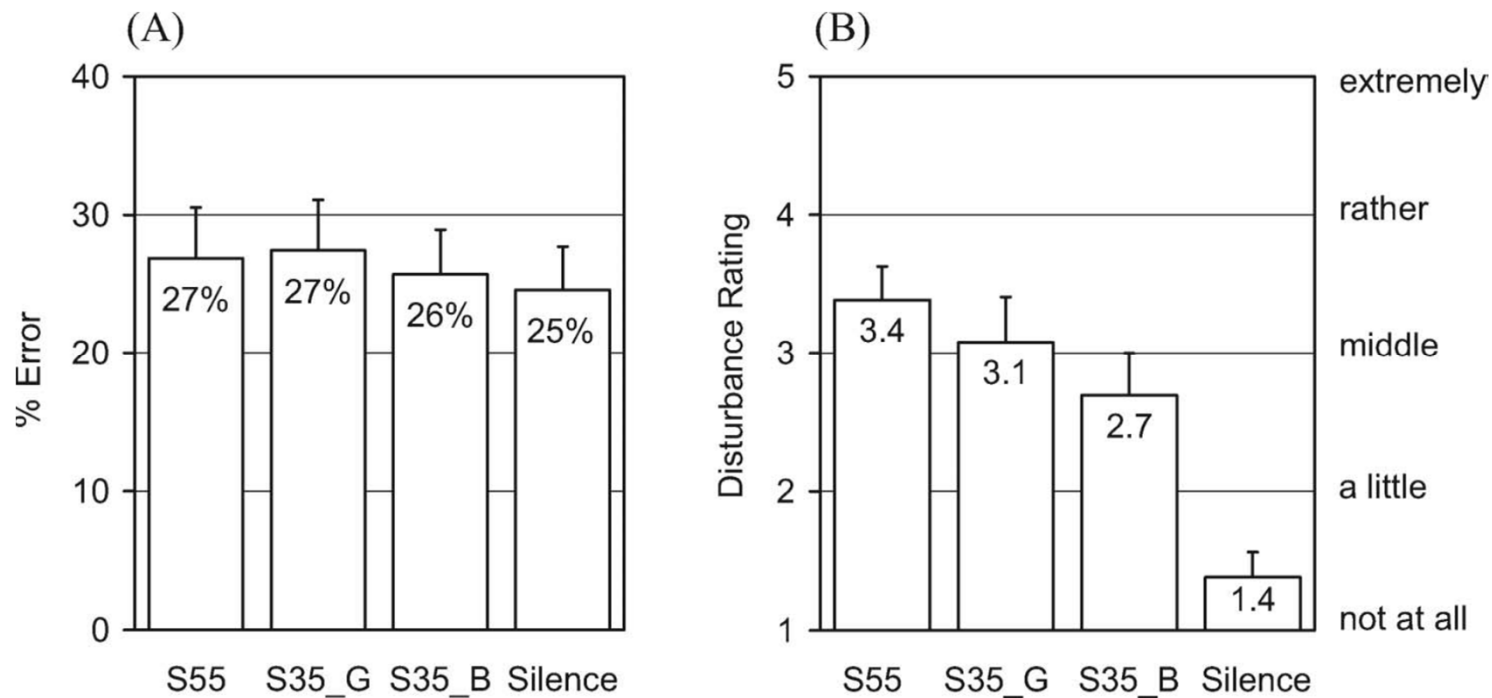
- Seule une tâche de sériation permet de mesurer une baisse de performance dans des expériences usuelles de laboratoire (courte durée).



(Landström, Acta Acustica 2002)

Choix de la tâche

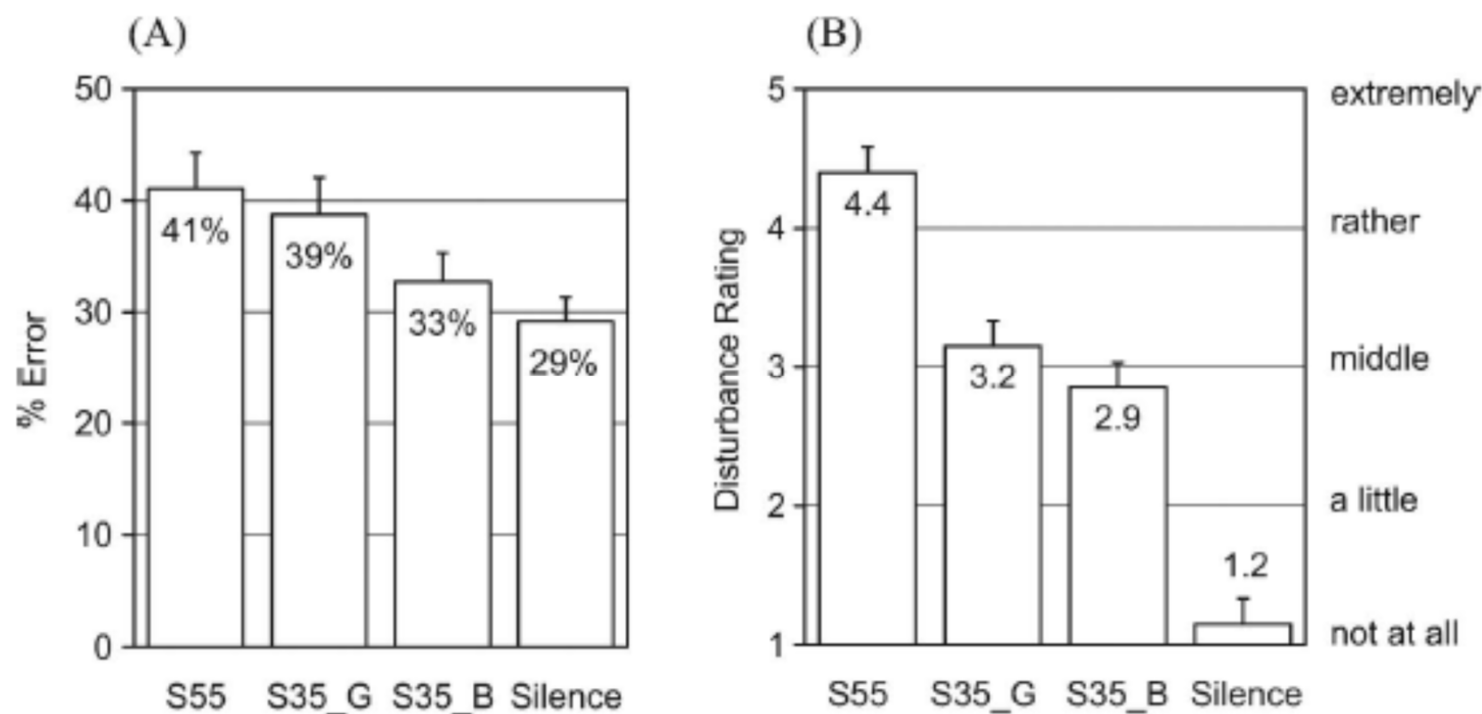
- Mais la gêne ressentie est plus variable !
- Exemple : questions grammaticales :



(Schlittmeier et al., *Ergonomics* 51, 2008)

Indicateur d'ISE

- Stimuli voix + bruit : l'ISE augmente avec l'intelligibilité de la parole



(Schlittmeier et al., Ergonomics 51, 2008)

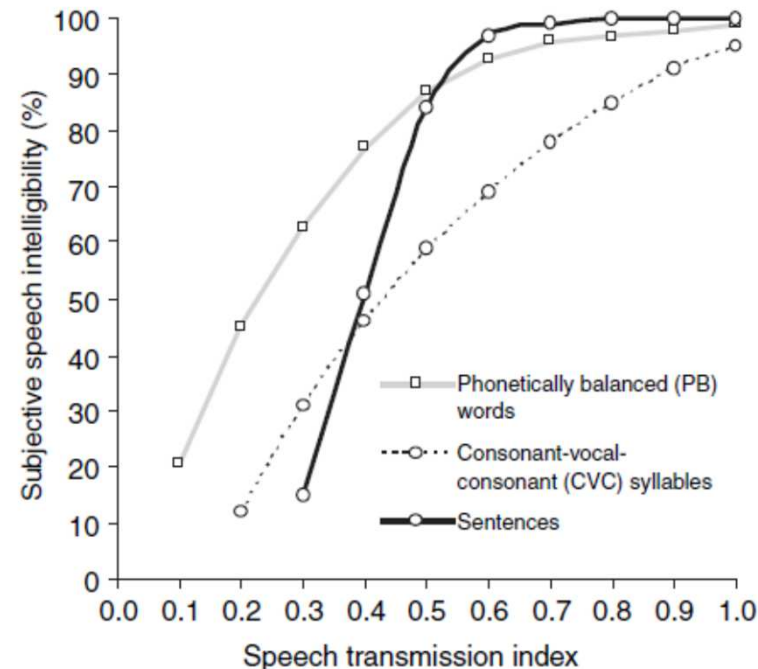
Indicateur d'ISE

- Stimuli voix + bruit : l'ISE augmente avec l'intelligibilité de la parole
- Cette intelligibilité est reliée à des indicateurs simples tels que Speech Transmission Index

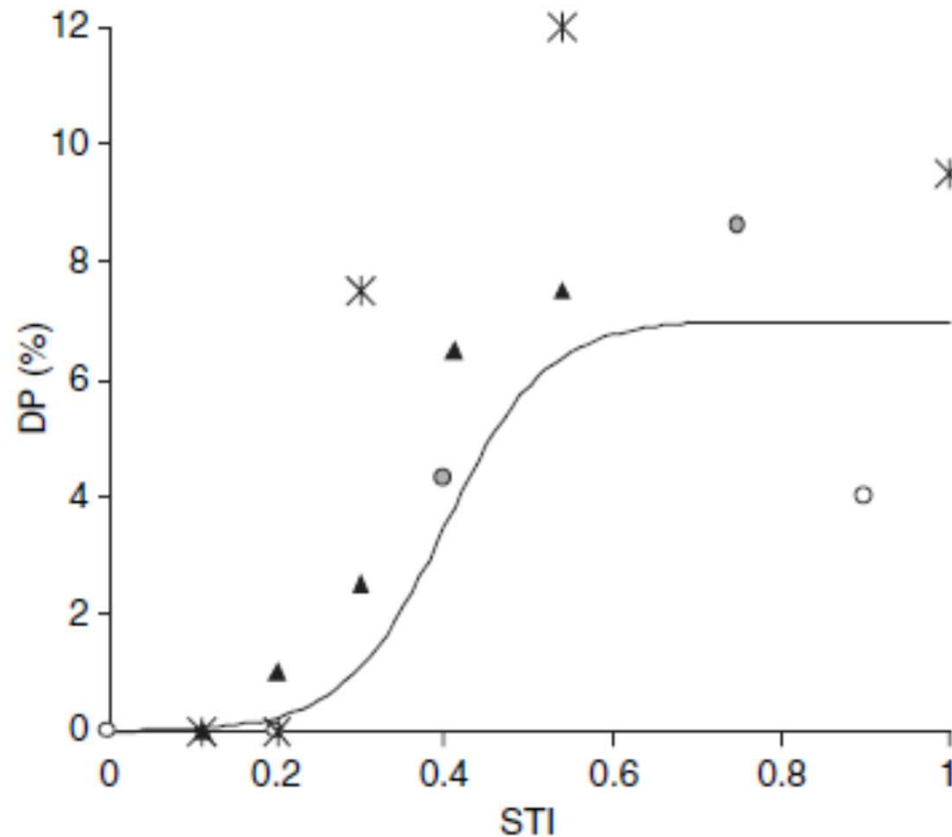
Schématiquement :

$$STI = \sum_{k=1}^7 \alpha_k \frac{SNR_k + 15}{30}$$

(norme IEC 60268 – 16, 2011)



Relation entre STI et baisse de performance

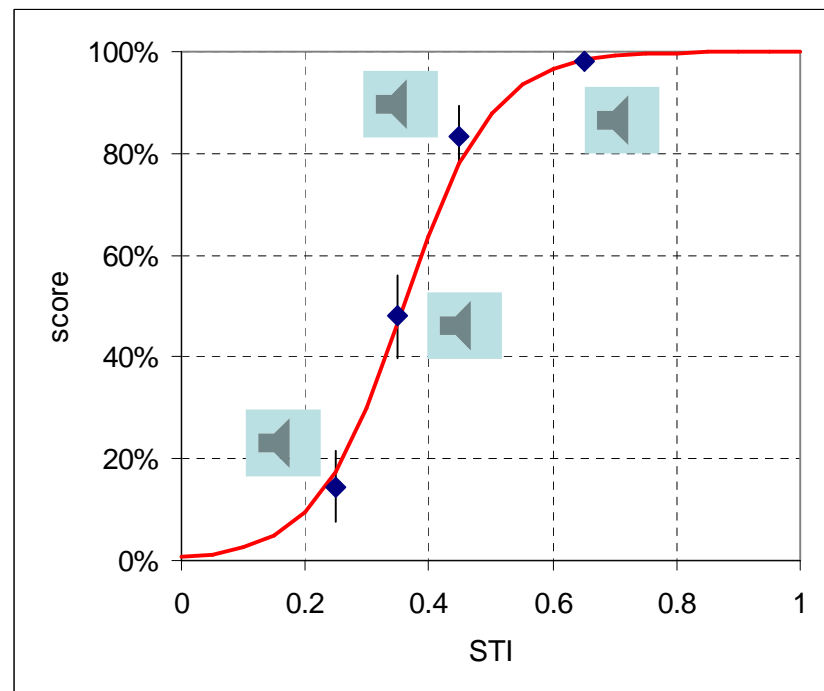


$$DP = \frac{-7}{1 + e^{\frac{STI - 0.4}{0.06}}} + 7$$

(Hongisto, *Indoor Air 15*, 2005)

Vérification

- 5 situations :
 - bruit (référence);
 - bruit et parole, à 4 niveaux d'intelligibilité



Protocole

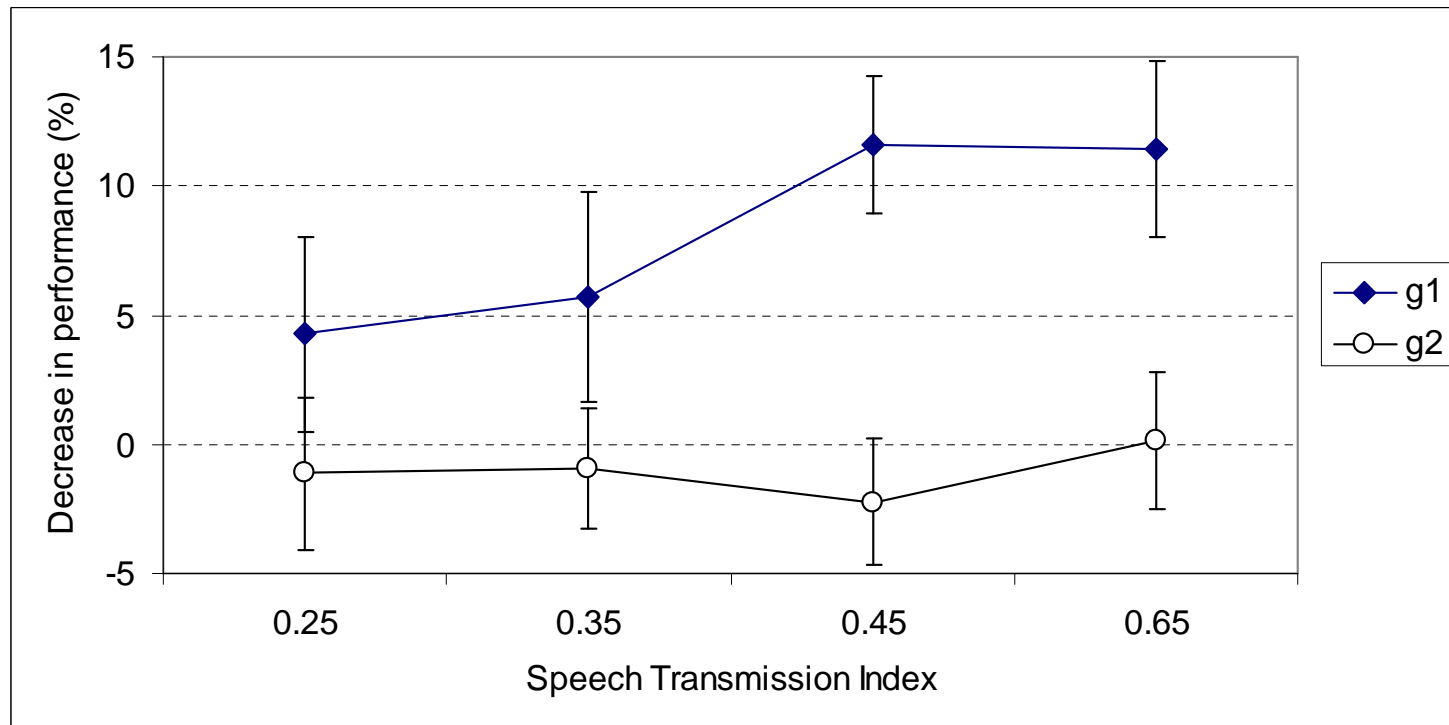
- 5 situations :
 - bruit (référence);
 - bruit et parole, à 4 niveaux d'intelligibilité (STI : 0.25, 0.35, 0.45 et 0.65).



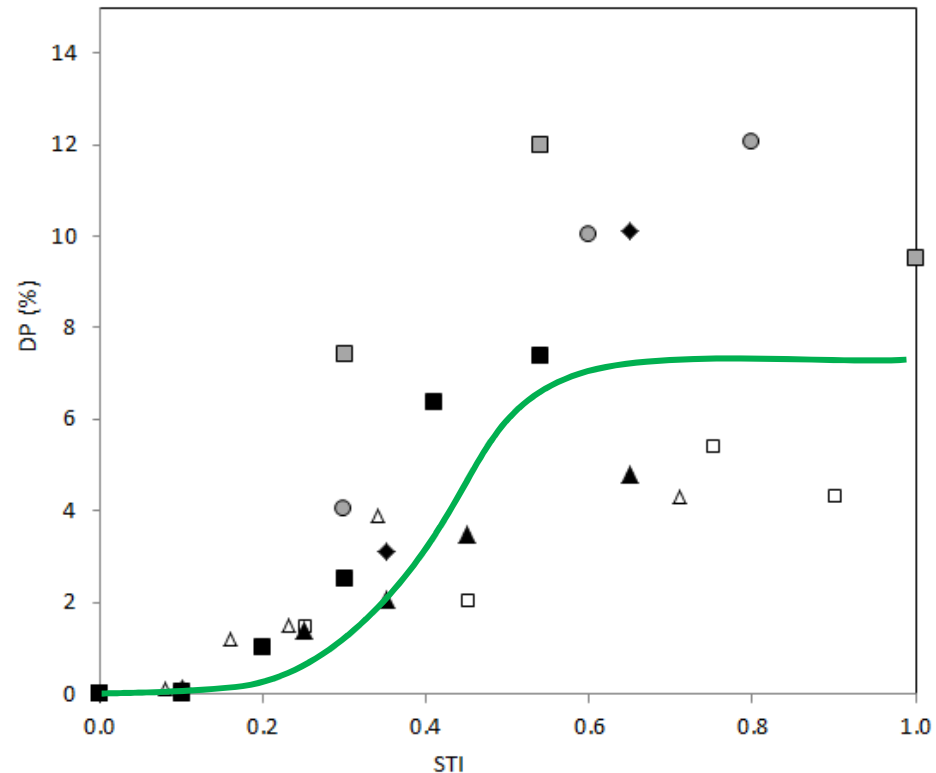
- tâche : mémorisation de l'ordre d'apparition des chiffres 0 à 9 (présentation visuelle, 1 s/chiffre).
- 57 sujets.

Résultats

- Deux groupes de participants peuvent être construits :
 - 32 participants insensibles au bruit ambiant (hautes perf.);
 - 25 participants sensibles (basses perf.).



Relation entre STI et baisse de performance



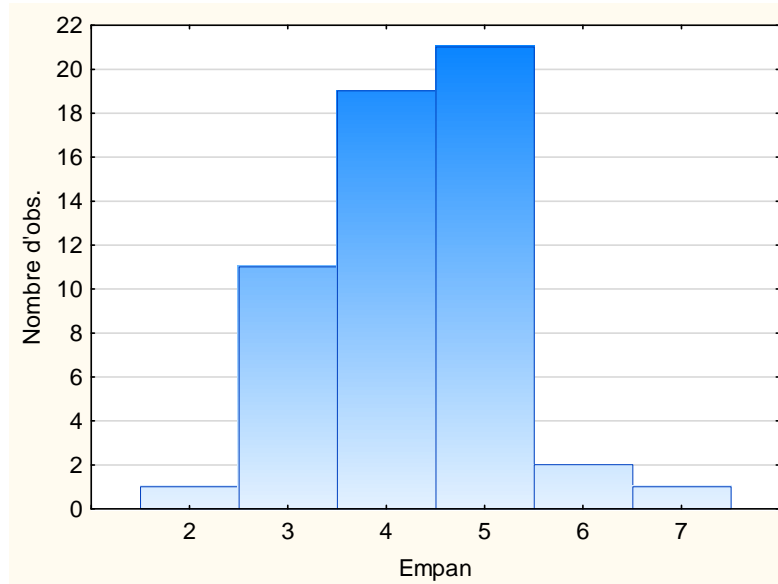
$$DP = \frac{-7}{1 + e^{\frac{STI - 0.4}{0.06}}} + 7$$

- Ellermeier and Hellbruck (1998) Exp 2A
- Ellermeier and Hellbruck (1998) Exp 2B
- Schlittmeier et al (2008)
- ◆ Haka et al (2009)
- ▲ Ebissou (2013) Exp 1
- △ Jahncke et al (2013)
- Kostallari et al. (2017)

Expérience complémentaire

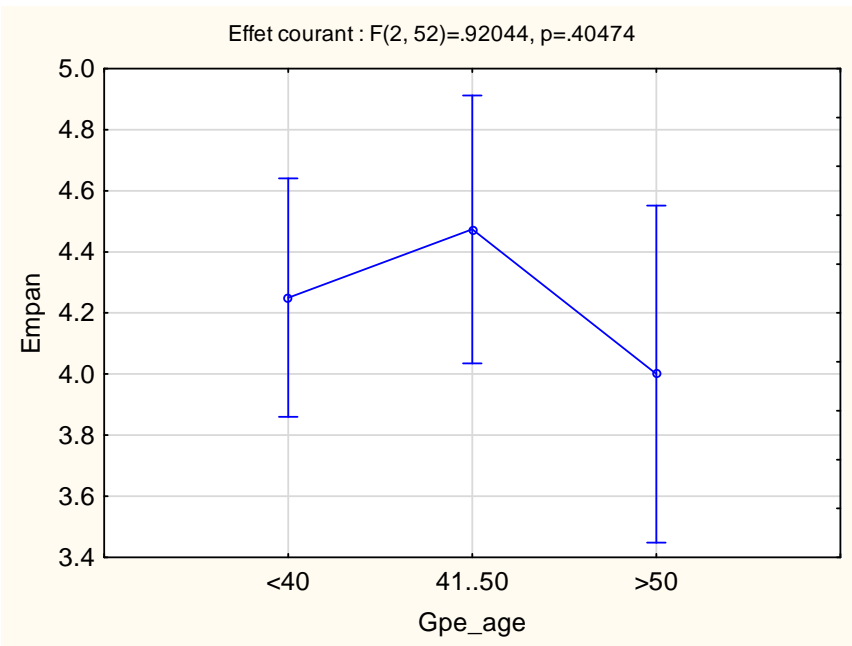
- Objectif : explorer la zone de STI élevé
- STI : 0.25, 0.45, 0.75 et 0.9
- Parole dans bruit (total 55 dBA), contrôle = silence
- 55 auditeurs (25 à 59 ans).
- Mesures préliminaires :
 - Audiométrie tonale
 - Empan mnésique
- Tâche : retenir des mots présentés visuellement.
Nombre de mots variable selon l'empan du participant

Valeurs d'empan mnésique



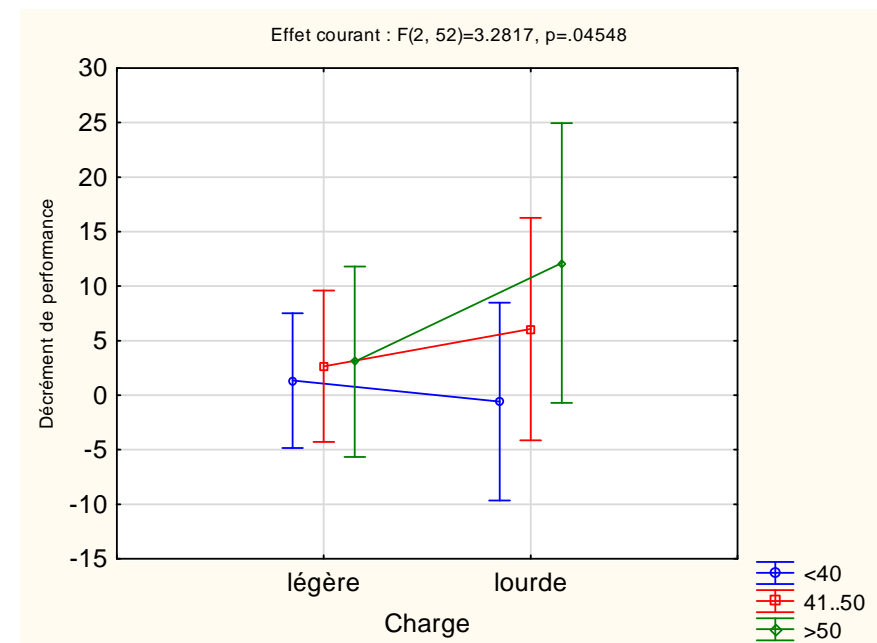
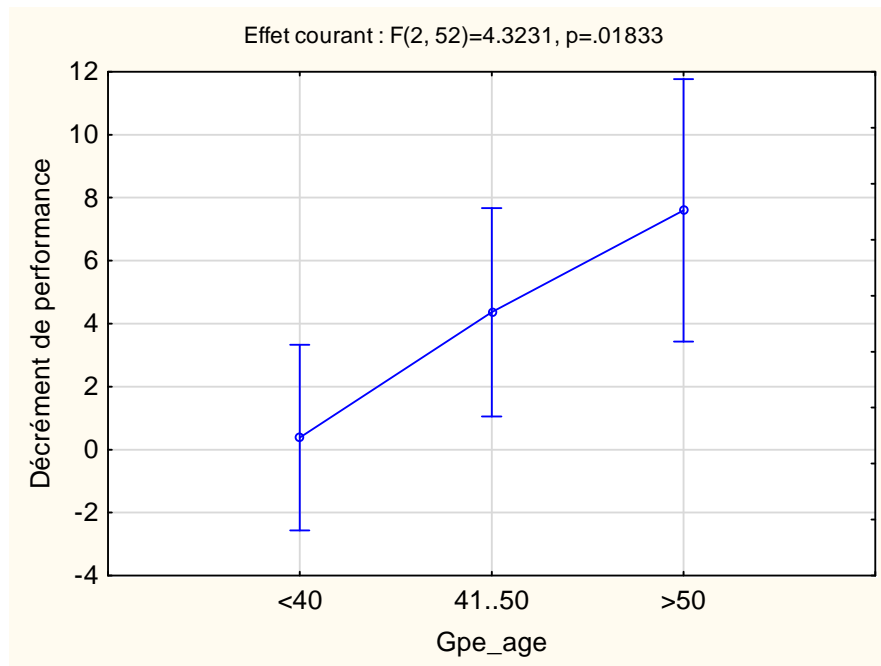
(thèse K. Kostallari, INRS)

Participants séparés en
3 groupes d'âge
(< 41 ans, 41-50 ans, > 50 ans)

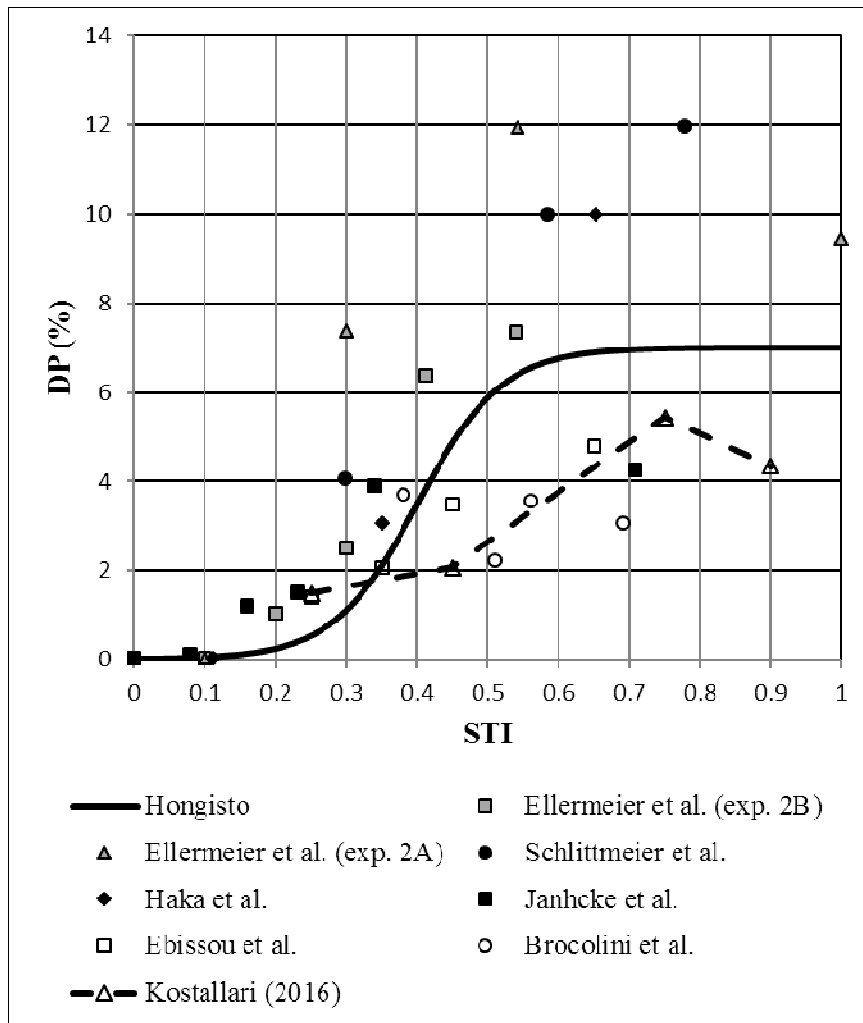


Effet de l'âge

- Le décrétement de performance augmente avec l'âge
- Surtout pour la charge lourde (empan + 2)



*Cf. Rouleau & Belleville, J. of Geront. 1996 , Meijer et al., J. of Geront. 2006)
Mais Bell et al. Psych. And Aging 2008.*



- Le modèle de Hongisto n'est pas remis en cause

Limitation de l'indicateur STI

- Le STI évalue l'intelligibilité d'une voix identifiée dans un bruit de fond.
- Il peut donc être utilisé pour évaluer la perturbation d'un voisin de bureau.

- Mais comment évaluer la gêne et le bruit global ?

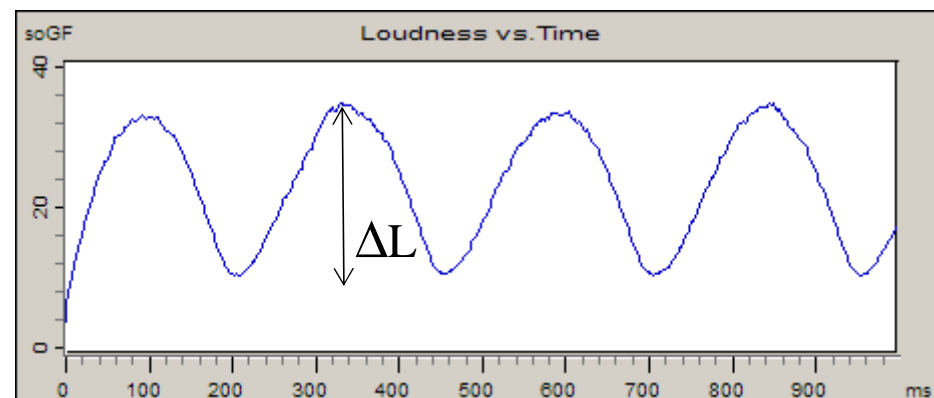
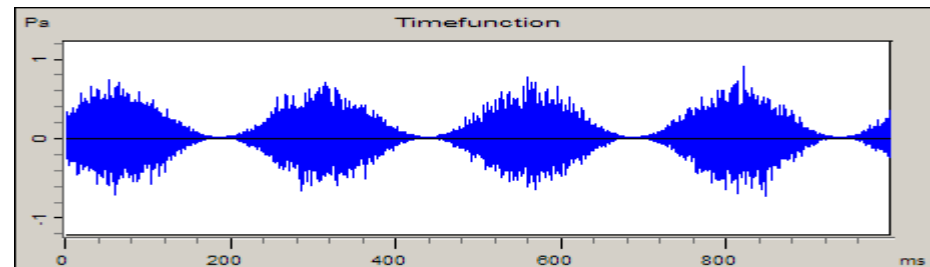
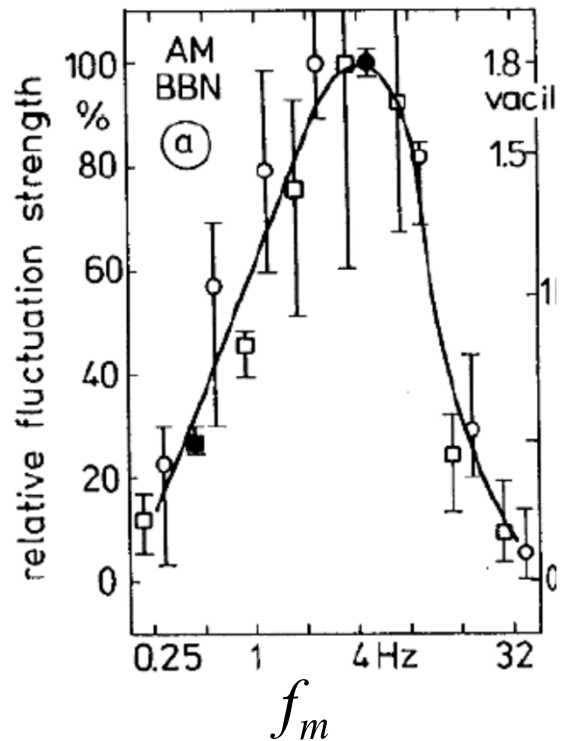


Alors
je lui
dis...
bla-bla

Proposition 1 : force de fluctuation

- Sensation créée par des sons modulés en fréquence
($f_m < 30$ Hz)

$$b(t) \left(1 + \sin(2\pi f_m t) \right)$$

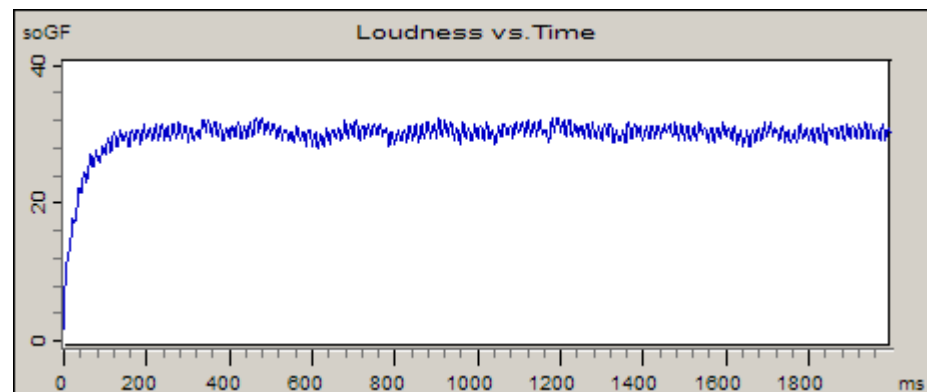
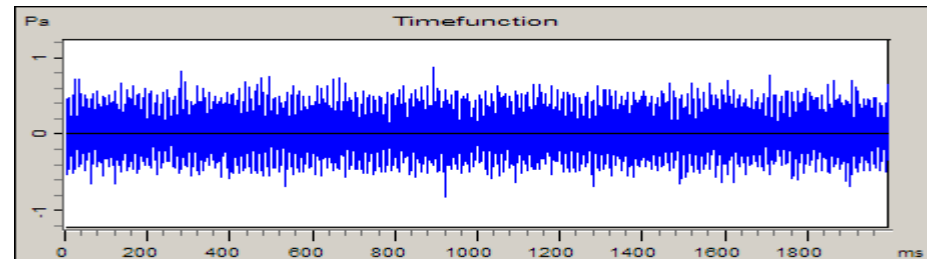
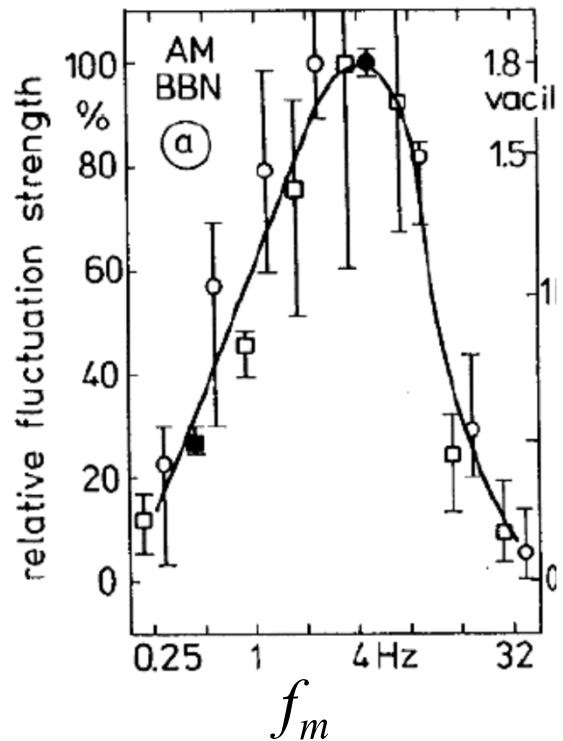


$$F \approx \frac{\Delta L}{(f_{\text{mod}}/4\text{Hz}) + (4\text{Hz}/f_{\text{mod}})} \quad [\text{vacil}].$$

Proposition 1 : force de fluctuation

- Sensation créée par des sons modulés en fréquence ($f_m < 30$ Hz)

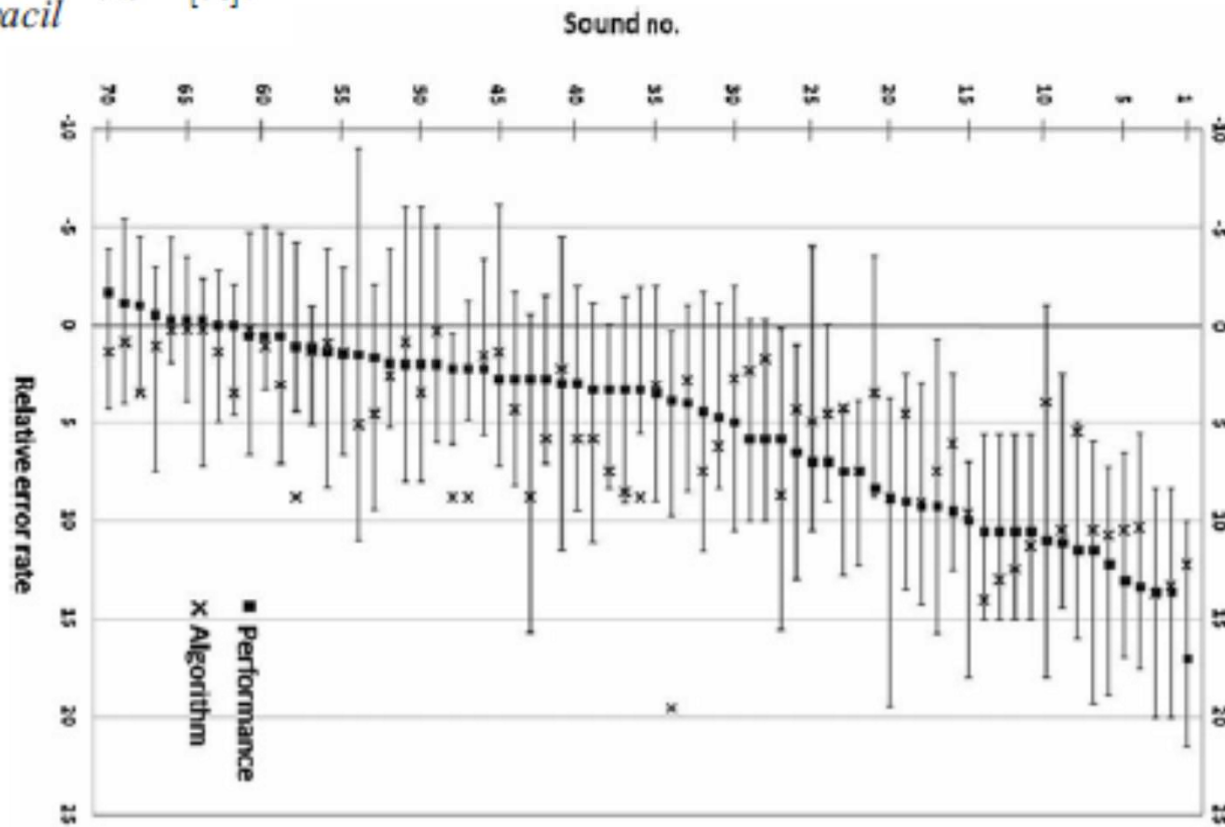
$$b(t) \left(1 + \sin(2\pi f_m t) \right)$$



$$F \approx \frac{\Delta L}{(f_{\text{mod}}/4\text{Hz}) + (4\text{Hz}/f_{\text{mod}})} \quad [\text{vacil}].$$

Relation Fs - ISE

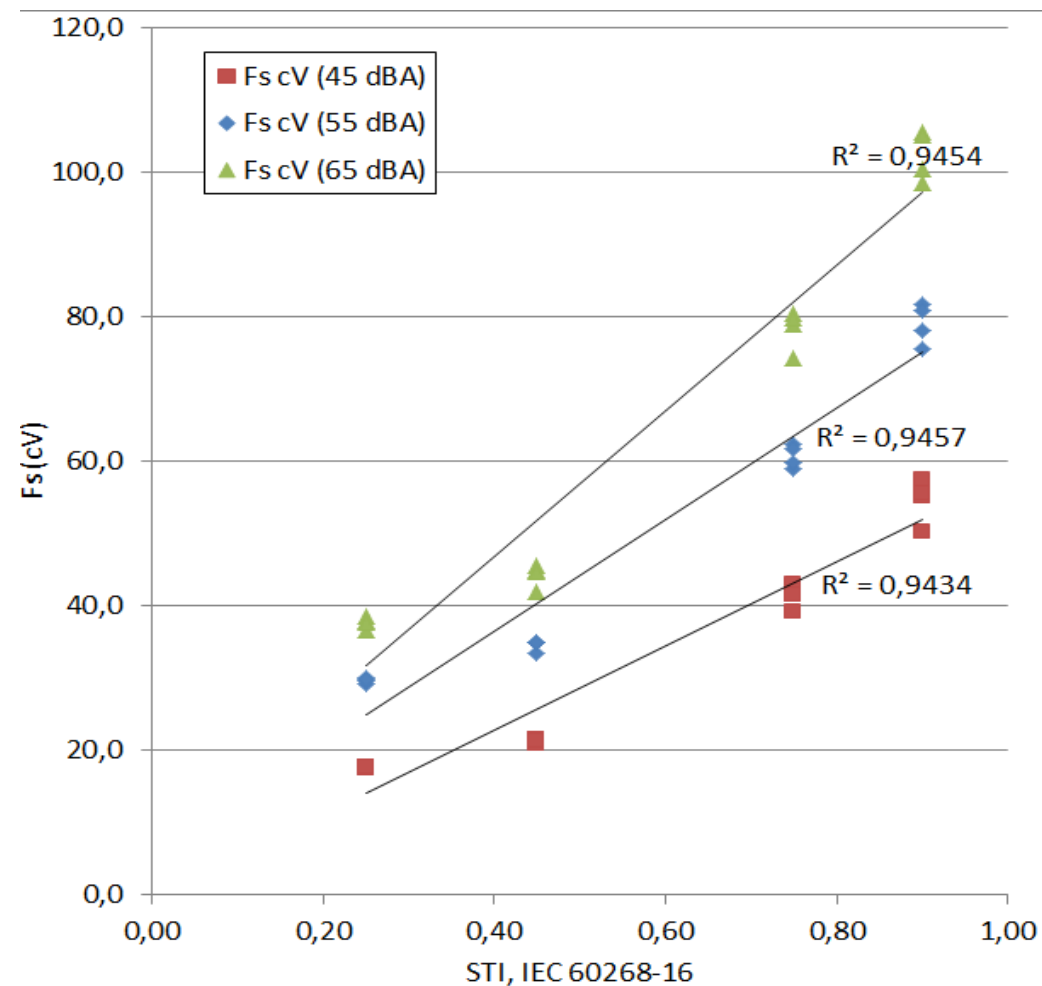
$$ISE = \frac{F}{0.68 \text{ vacil}} \cdot 7.5 \quad [\%].$$



(Schlittmeier, Atten, Percep & Psychophys 2012)

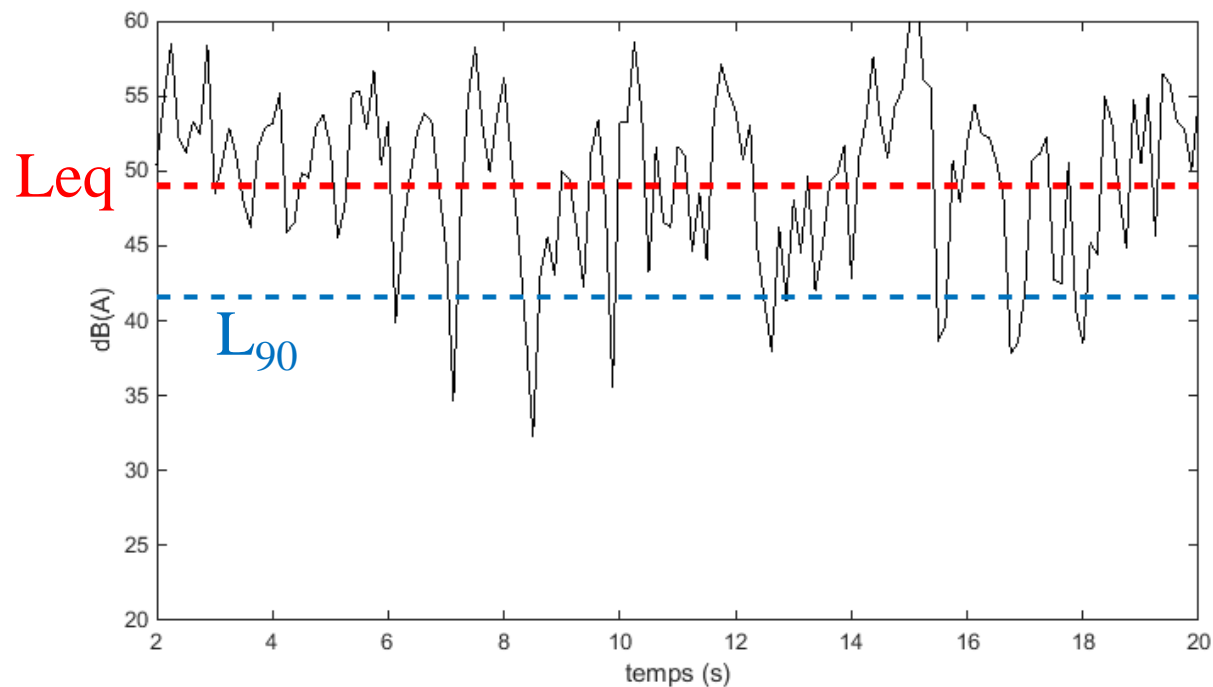
Limitation de la force de fluctuation

- Fs augmente avec le niveau de bruit – pas l'ISE !



Autre idée

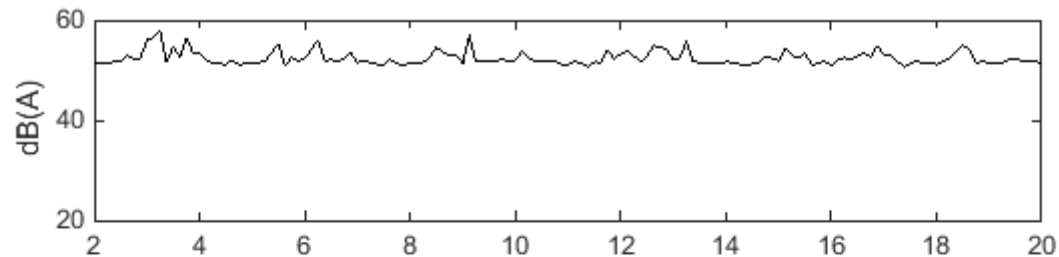
- Indicateur de fluctuation du niveau sonore
- Calcul du niveau en dBA, $T = 125$ ms



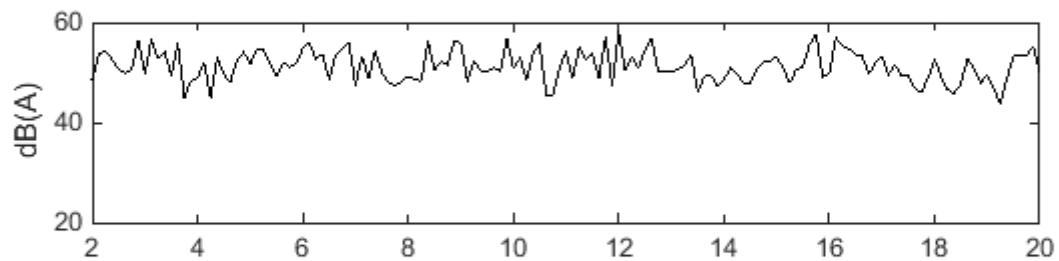
$$Meq = Leq - L_{90}$$

Autre idée

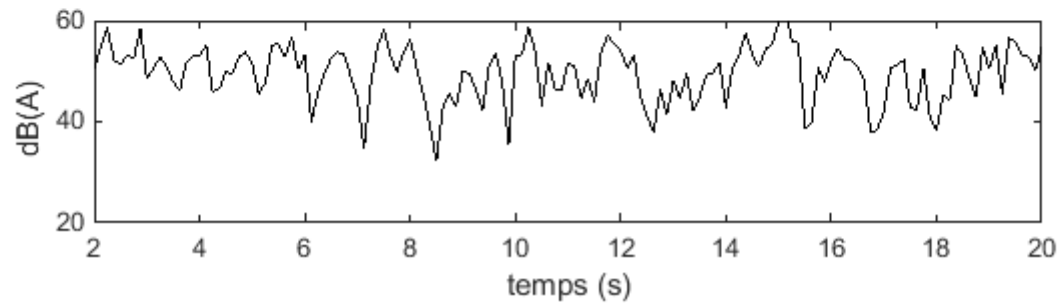
- Indicateur de fluctuation du niveau sonore



1 voix + bruit
 $Meq = 0$



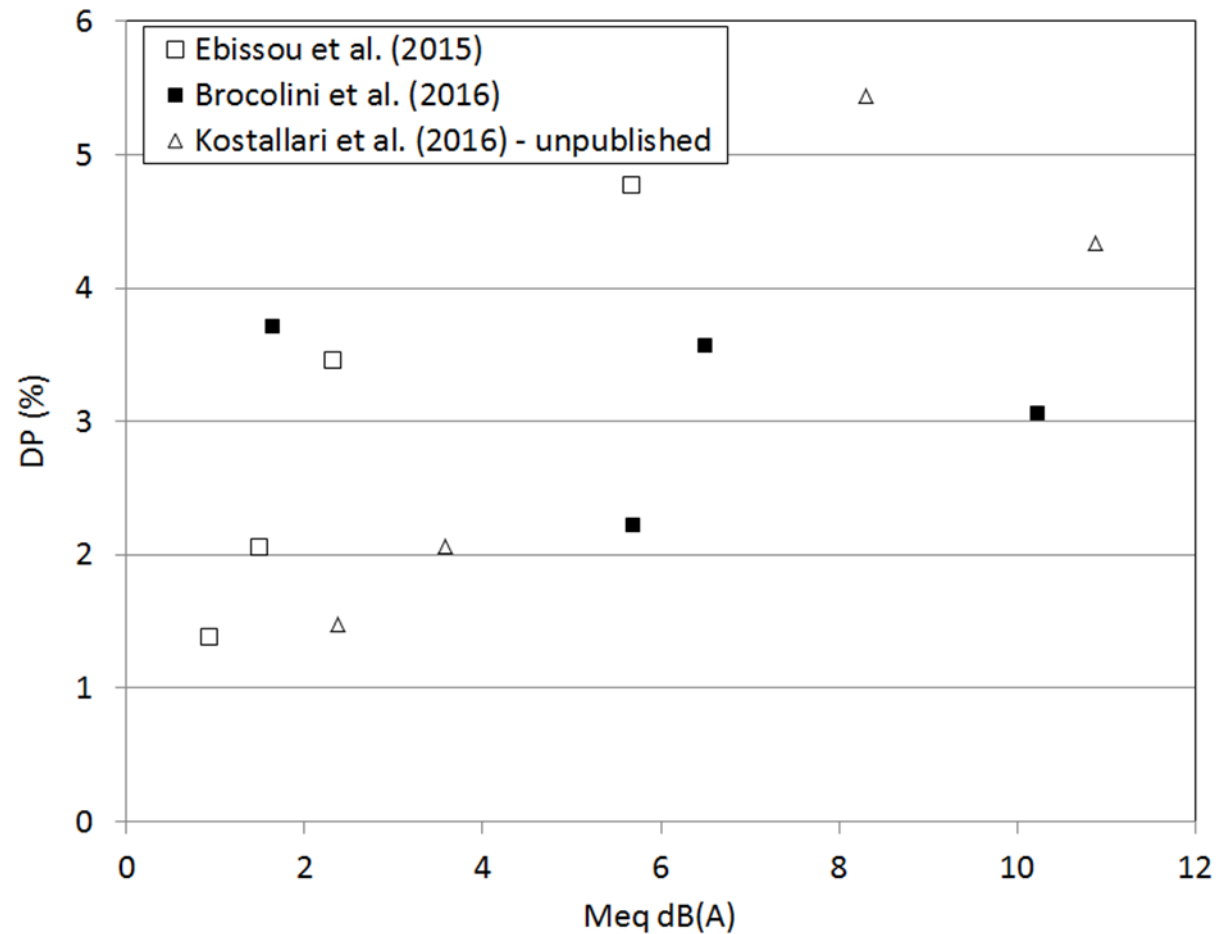
1 voix + 5 voix
 $Meq = 3.9$ dBA



1 voix + 1 voix
 $Meq = 7.8$ dBA

Validation

- A faire ! Le Meq pourrait être utilisé



Solutions d'amélioration

- Augmenter l'isolation entre postes

$$D_n = L_{p,1m} - L_p$$

$$D_n \geq 6 \text{ dB}$$



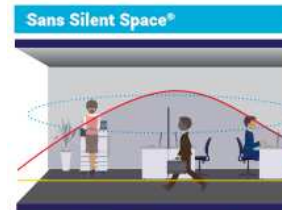
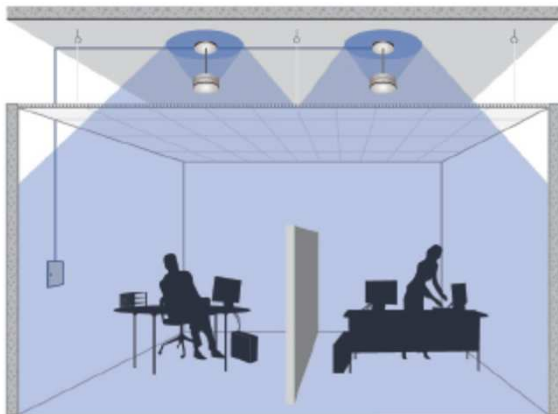
- Augmenter l'absorption du local

$$T_r < 0.6 \text{ s}$$



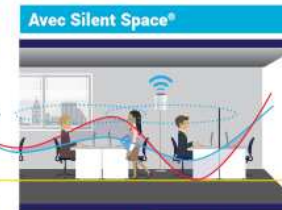
Solution de masquage

- Autre possibilité : diffuser du bruit (eau, rose...) pour diminuer l'ISE.



Différence trop importante entre le signal de la parole et le fond sonore moyen =

- rayon de distraction sonore important (déconcentration)
- absence de confidentialité
- fatigue due à l'accumulation d'informations verbales non désirées



Rapport signal de la parole sur fond sonore ajusté =

- rayon de distraction sonore moins important
- atténuation de la compréhension des informations périphérique
- meilleure concentration
- variation de pression acoustique moins gênantes

Légende

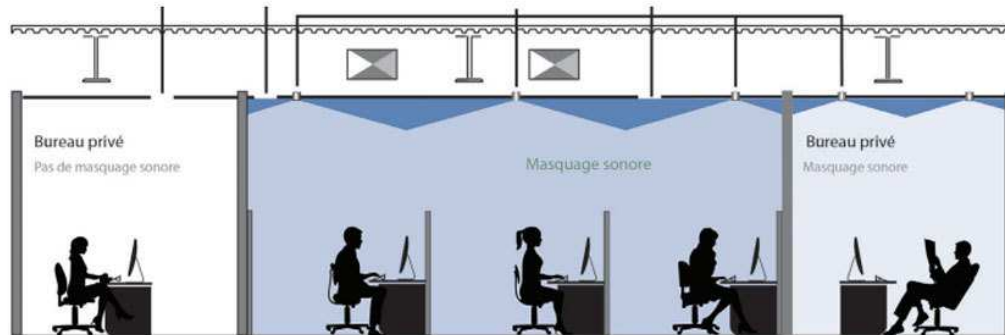
Fond sonore ajusté avec Signal Silent Space®

Signal de la parole

Fond sonore moyen

Rapport Signal de la parole / fond sonore

Rayons de distraction au poste de travail (zone où la parole humaine est intelligible, où les pics de bruit gênent)



Zone ouverte

Bureau privé

SMS-NET

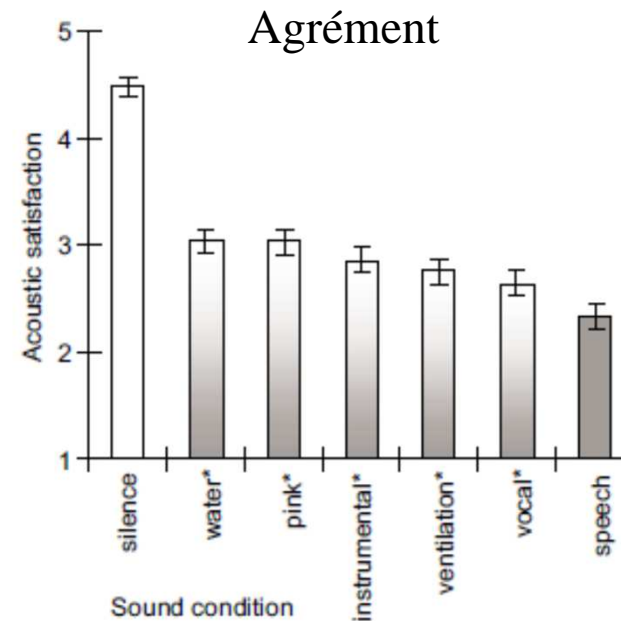
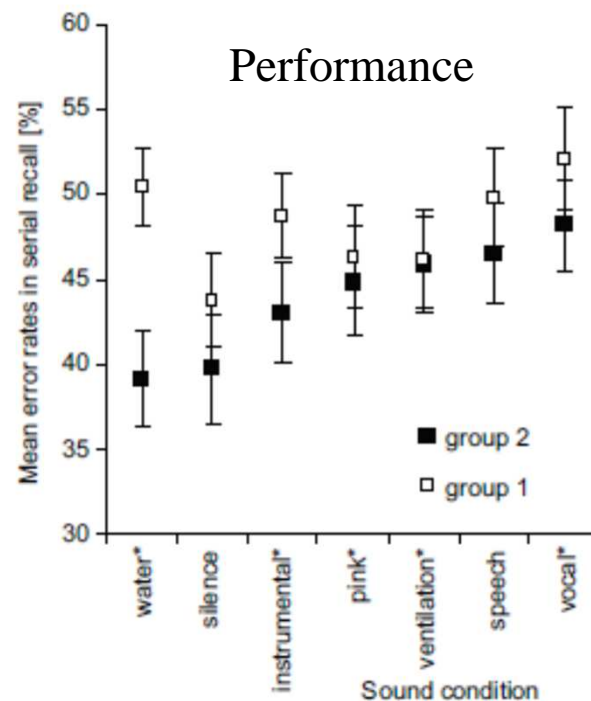


Haut-parleur



Pas de validation à ce jour

- Haapakangas et al. (2011) : bruit masquant une parole (STI 0.62 0.38) par ajout du bruit et réduction du niveau de parole (niveau total constant : 48 dB)



Conclusion

- De vraies difficultés expérimentales :
 - Manque de validité écologique;
 - Grande variabilité inter-individuelle;
 - Que mesurer ? Performance, gêne, fatigue...?
- Un indicateur acoustique adapté aux bureaux ouverts reste à mettre au point.
- Les solutions efficaces d'amélioration des espaces restent passives (isolation, absorption)