

Les implants cochléaires (IC) ont vu leur cadence de stimulation augmenter grandement ces 15 dernières années, pouvant parfois atteindre les 5000 impulsions par seconde (ips) par canal. Cependant, aucune amélioration significative sur des tâches de reconnaissance de la parole n'a été observée pour des cadences supérieures à environ 500 ips. Une explication possible est que ces cadences de stimulation élevées induisent une forte adaptation dans le nerf auditif, se traduisant par une chute exponentielle du taux de décharge des fibres nerveuses. Cette adaptation pourrait empêcher les neurones de suivre les fluctuations temporelles rapides des sons. Cette étude vise à étudier des corrélats perceptifs possibles de l'adaptation neuronale chez les sujets normo-entendants et implantés cochléaires. Nous nous basons sur le fait qu'un signal possédant une enveloppe amortie (comparable à l'amortissement engendrée par l'adaptation) est perçu comme étant plus court qu'un signal stationnaire de même durée physique.

Introduction :

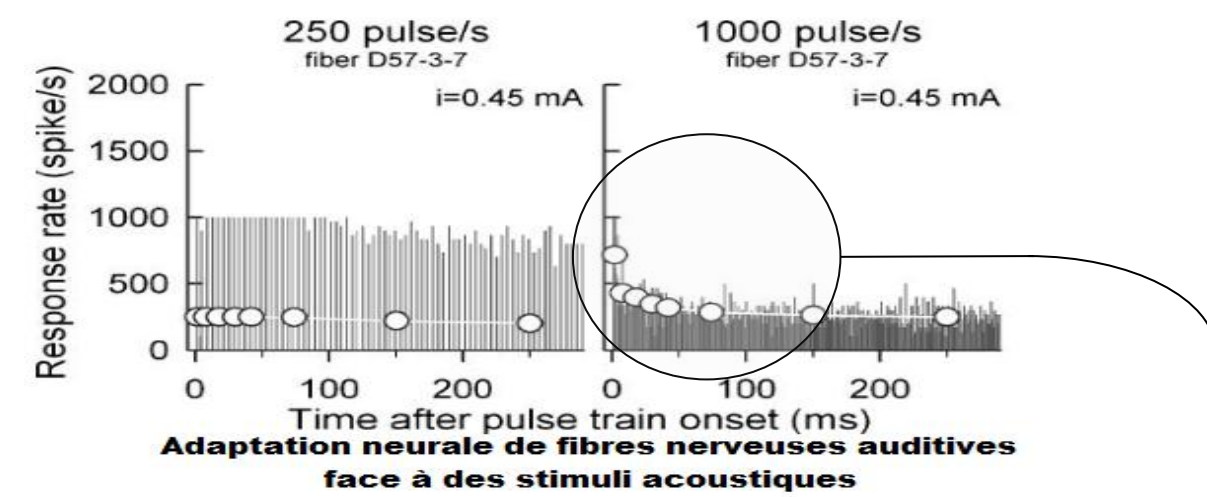
Adaptation des fibres du nerf auditif :

L'adaptation neuronale correspond à la décroissance du taux de décharge de neurones soumis à un stimulus constant. Ce phénomène a été observé dans les fibres du nerf auditif en réponse à une stimulation acoustique (par exemple pour des sons purs par Javel, 1996). La décroissance de leur taux de décharge s'effectue suivant plusieurs échelles de temps, allant de quelques millisecondes à plusieurs secondes.

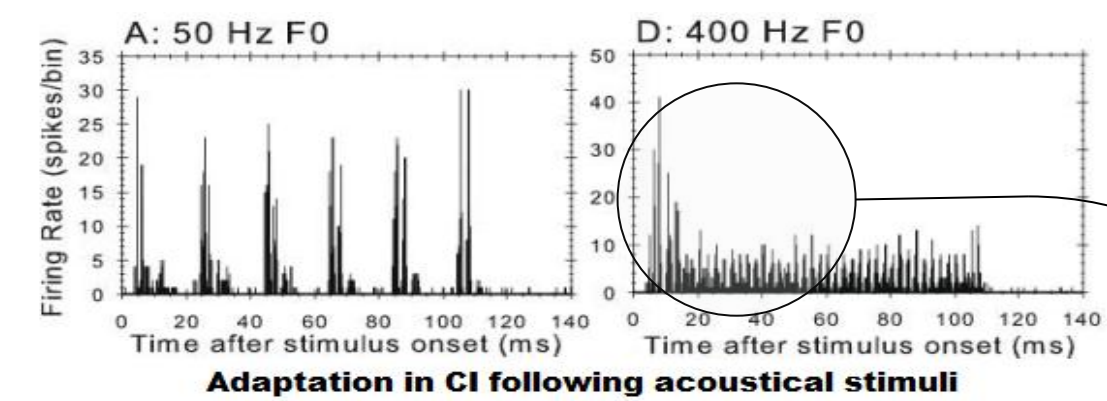
Intérêt : Adaptation à court terme

Phénomène observé aussi suite à une stimulation électrique intracochléaire, chez l'animal (Parkins, 1989, C Miller & al., 2010) et par des mesures du potentiel d'action composite du nerf auditif chez l'implanté cochléaire (Marcia J. Hay-McCutcheon, 2005). Ceci suggère que les cellules ciliées ne sont pas les seules responsables de l'adaptation neuronale.

Taux de décharge de fibres nerveuses auditives du chat en réponse à des trains d'impulsions électriques de deux cadences différentes (250 ips à gauche et 1000 ips à droite; Zhang et al., 2007).



Taux de décharge de neurones du Colliculus Inférieur du cochon d'inde en réponse à des trains d'impulsions acoustiques de cadences différentes (50 Hz à gauche et 400 Hz à droite; Shackleton et al., 2009).



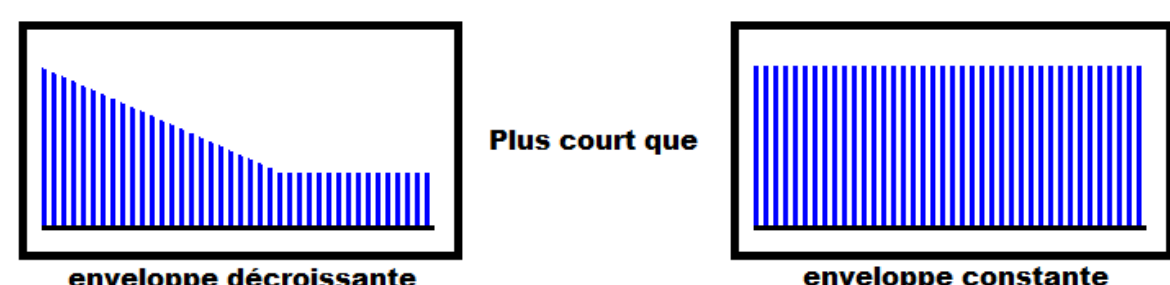
Taux de décharge : **forme exponentielle amortie**

L'adaptation neuronale augmente avec la cadence de stimulation

But de l'expérience et Hypothèses:

- Cette étude s'intéresse à la recherche de **corrélats perceptifs possibles de l'adaptation neuronale à court terme** chez les sujets normo-entendants et implantés cochléaires.
- Nos buts sont de:
 - Comprendre les implications perceptives de ce phénomène physiologique.
 - Développer une mesure psychophysique de l'adaptation pour à terme pouvoir l'appliquer à l'optimisation du réglage des implants cochléaires.
 - Comparer cette mesure chez les sujets normo-entendants et implantés cochléaires pour appréhender les contributions respectives des cellules ciliées et des fibres nerveuses à l'adaptation.

Hypothèse:



Notre hypothèse se base sur deux observations:

- Un signal ayant une enveloppe décroissante est perçu comme étant plus court qu'un signal d'enveloppe stationnaire possédant la même durée physique (Schlauch et al., 2001; Grassi and Darwin, 2006).
- L'adaptation neuronale augmente avec la cadence de stimulation (stim. acoustique ou électrique). Au niveau des fibres du nerf auditif, la réponse à un stimulus d'amplitude constante « adaptant » ressemble à la réponse à un stimulus d'enveloppe décroissante.

Hypothèse: Les sons de cadence élevée (adaptant) seront perçus comme **plus courts** que des sons de cadence faible (non-adaptant). Cette différence de durée perçue sera plus marquée pour des stimuli plus longs.

Expériences et résultats :

Ajustement de la durée de sons de cadences différentes:

Méthode :

Ajustement de durée entre des sons supposés induire une adaptation de plus en plus forte: Écoute de 2 sons de cadence différente (250ms d'intervalle inter-stimulus), ajustement de la durée d'un des deux sons avec l'autre comme référence temporelle.

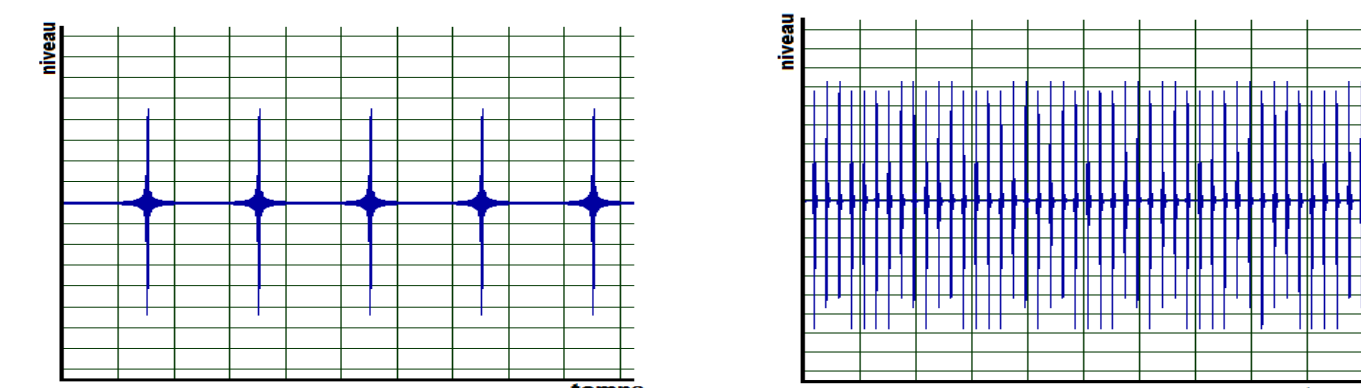
- 1 son de référence:**
- durée fixe (40,120,400 ms)
 - 2 à 4 cadences différentes selon l'expérience.

- 1 son à ajuster:**
- durée initiale choisie aléatoirement de 20 à 640 ms
 - cadence fixe à 450 (exp1) ou 800 ips (exp2&3).

Stimuli :

- Sons complexes harmoniques (F0=50 Hz): Somme de sinusoïdes ayant une relation de phase permettant d'augmenter le nombre d'impulsions acoustiques présents dans chaque période de 20ms, tout en gardant un spectre à long terme identique.

Exemple: 100 ms de signal pour 50pps (gauche) et 450 pps (droite)



- Filtrés (Butterworth ordre 8) entre 7.8 et 10.8 kHz
-> simule sur la membrane basilaire les bursts d'une stimulation électrique
- Egalisés en RMS à 60dB SPL.

Bruit blanc :

- Constant
- Filtré passe-bas à 7.8 kHz
- Niveau de spectre de 15 dB SPL à 4 kHz

Perception de la durée de sons décroissants:

Expérience :

- Méthode d'ajustement.
- 1 son de référence, 1 son à ajuster.
- Cadence fixe à 800 ips

Stimuli :

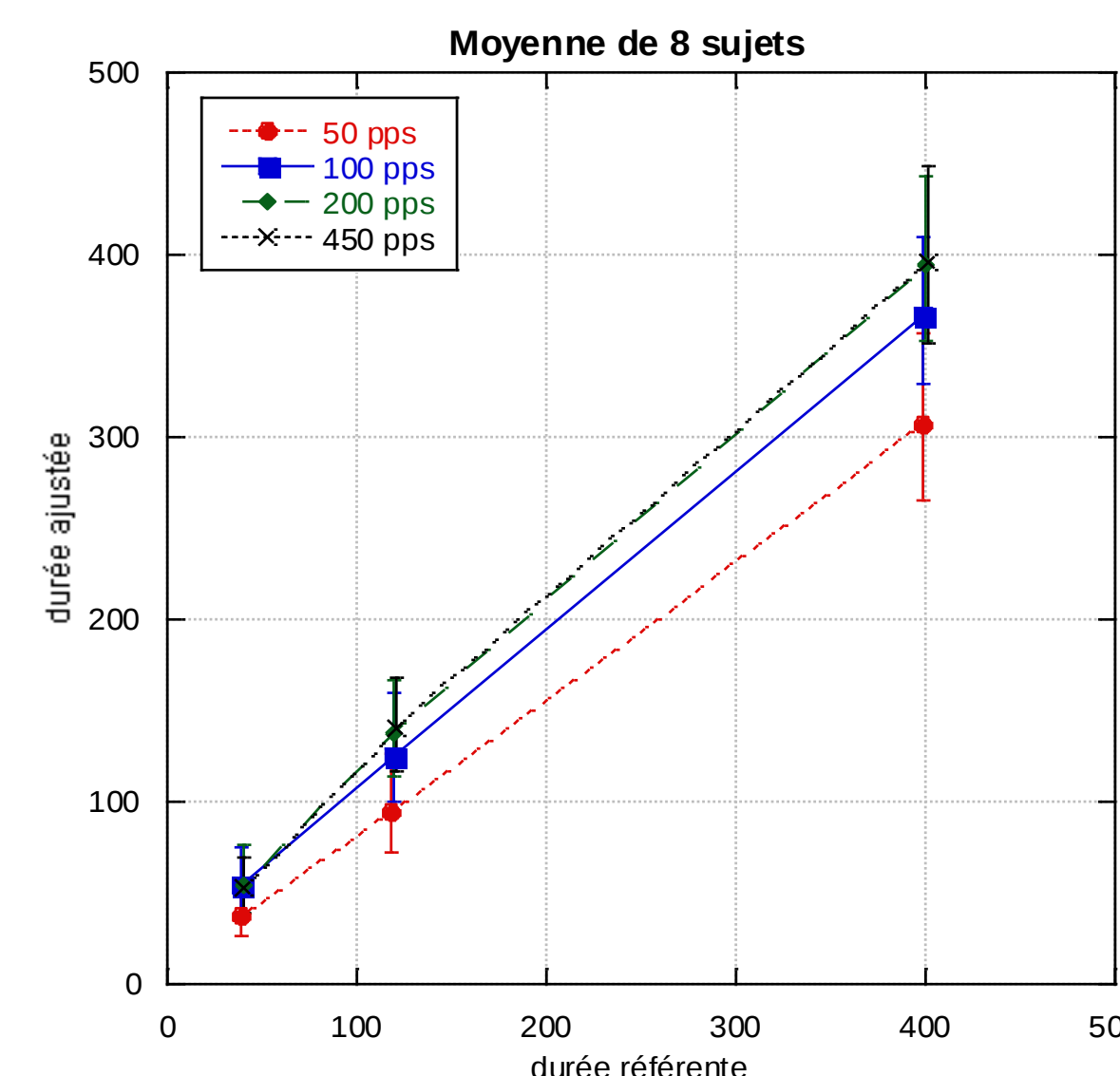
- Filtrés (Butterworth ordre 8) entre 7.8 et 10.8 kHz
- Egalisés en RMS à 60dB SPL.

Bruit blanc constant :

- Passe-bas à 7.8 kHz
- Niveau sonore à 15 dB SPL centré à 4 kHz

Résultats :

La perception de durée est-elle un marqueur de l'adaptation?



Mise en évidence de l'effet

Position du son de référence

Sons à faible cadence perçus comme plus courts!

Résultats contraires à l'hypothèse

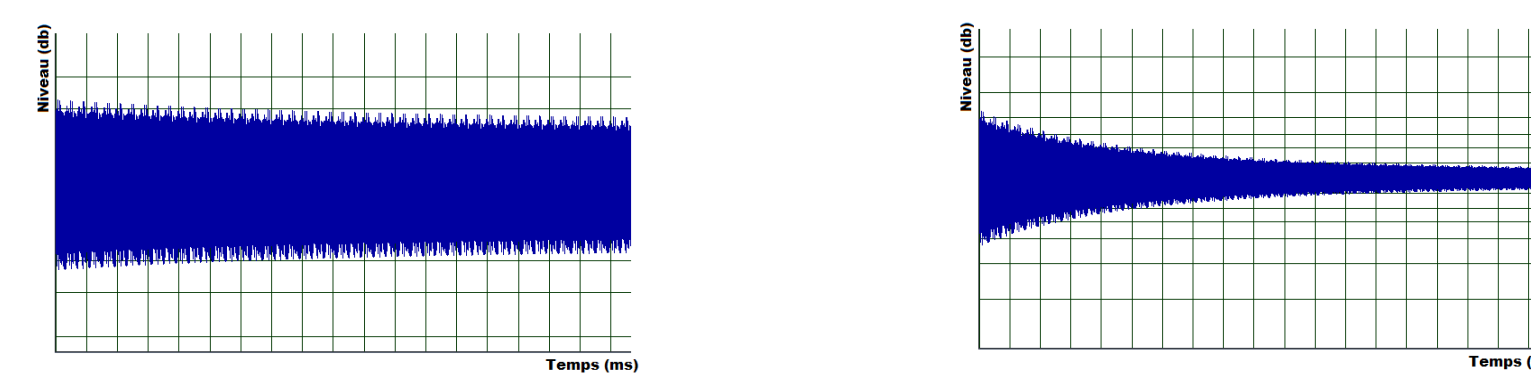
Effet significatif de l'interaction cadence * durée de référence: sur la durée perçue (RM ANOVA $p < 0.001$).

Sous-estimation marquée des sons à faible cadence qui s'amplifie avec l'augmentation de durée.

Problème : perception de la durée peut-être biaisée par les différences de durée effective des sons?

A partir de quelle décroissance d'enveloppe observe t-on une différence dans la perception de la durée entre son stationnaire et décroissant?

On simule l'effet de l'adaptation en contrôlant la forme de l'enveloppe pour voir s'il existe une forme qui induit une différence dans la perception de la durée.



5 valeurs différentes d'asymptote, correspondant à 0, 2.5 (a gauche), 10, 20 (a droite) dB de moins à partir de l'asymptote. Le stimulus initial à 60dB, l'asymptote max à -20 dB en dessous du niveau à l'origine. La constante de temps (t=40 ms) est identique à celle observée pour l'adaptation à court terme. Durée de référence de 40 et 400 ms.

Conclusion & perspectives :

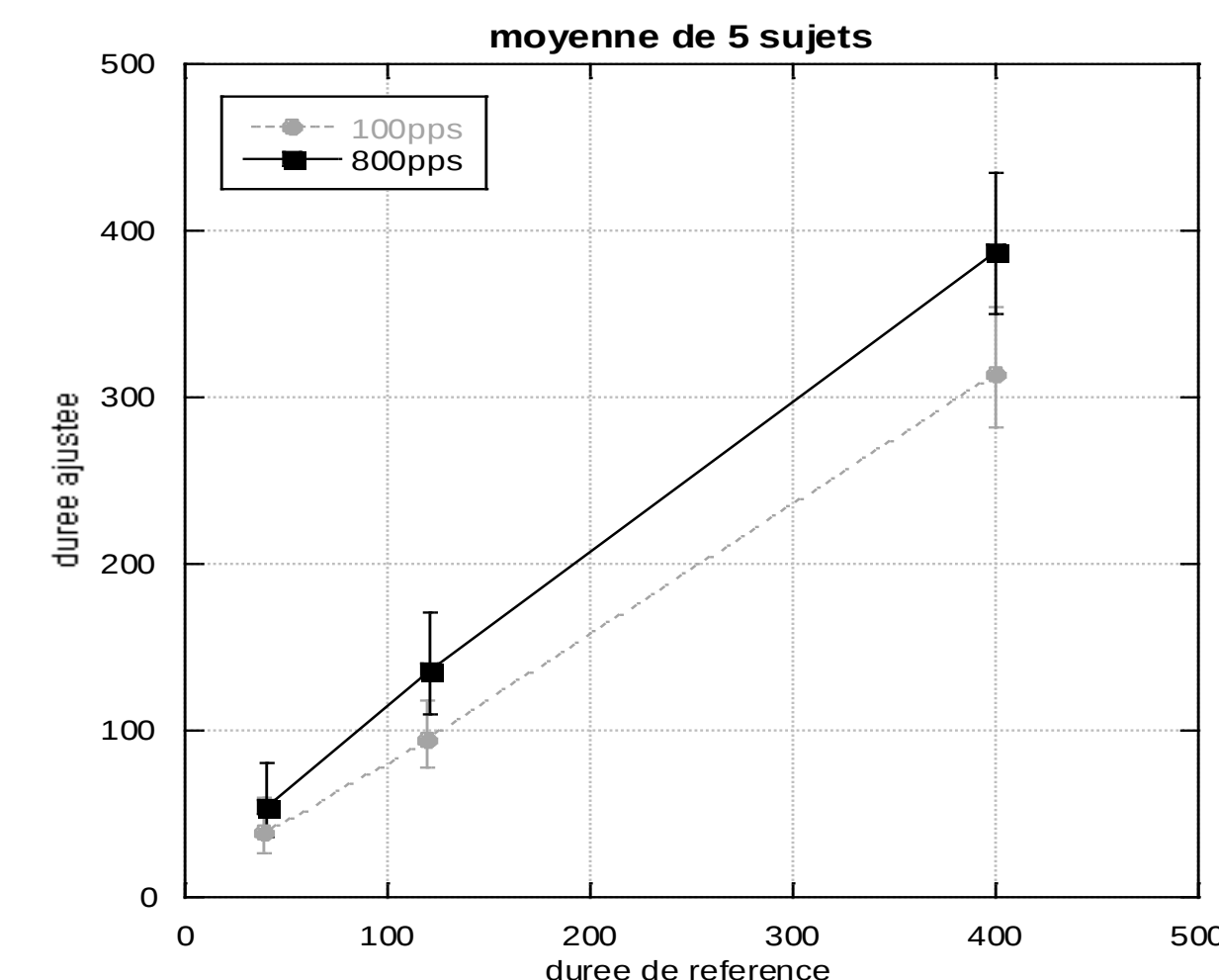
On observe bien un effet de la cadence sur la durée perçue, **MAIS:**

- La direction de l'effet est contraire à l'hypothèse de départ!** (Les sons à **faible cadence** sont perçus comme **plus courts** que les sons à cadence élevée)
- Et cet effet augmente avec la durée du son de référence**

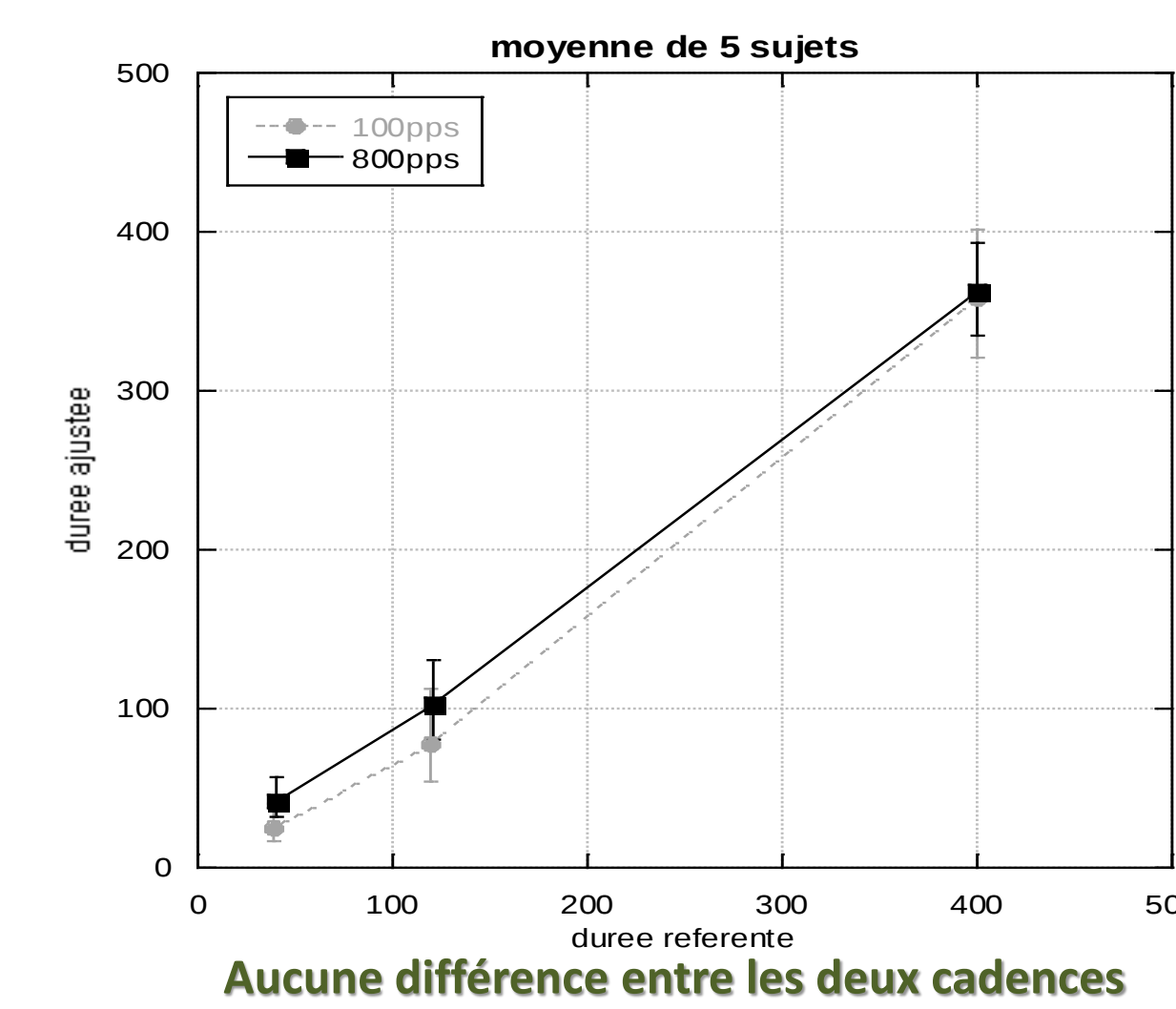
Cependant, ce résultat est seulement valide lorsque le son à ajuster est placé en deuxième position. Ceci pourrait s'expliquer par l'existence **d'une horloge interne** liée à la perception de la durée des sons.

Proposition de 3 expériences complémentaires :

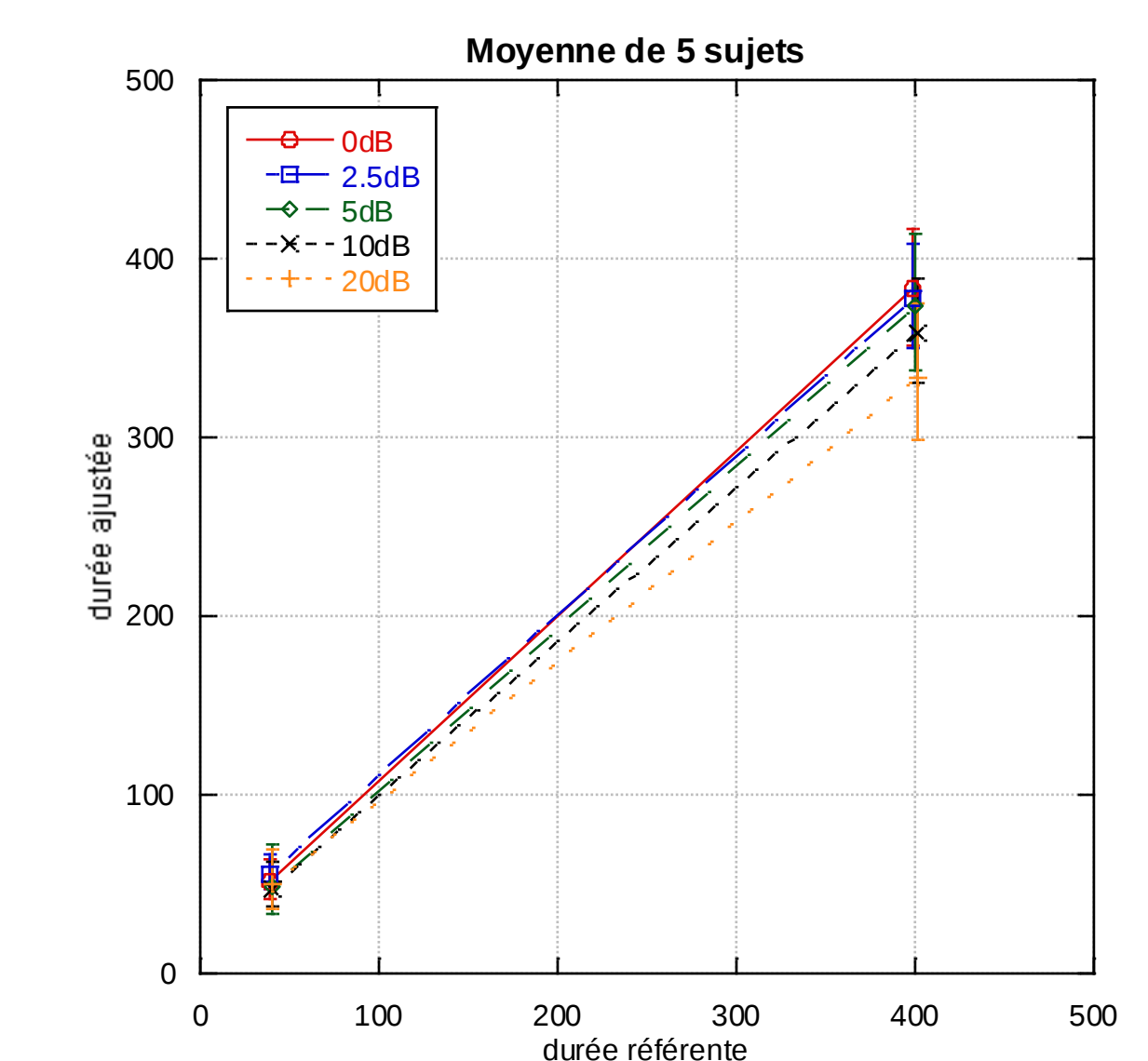
- Comparer des signaux rampés avec des signaux d'enveloppe constante dont le niveau équivaut au niveau à l'asymptote de la rampe.
- Vérifier que les sujet n'aient pas d'indices de niveau sonore en ajoutant un niveau aléatoire à chaque stimulus.
- Modifier la cadence des sons amortis (tester à 100 pps).



Sous estimation de sons à faible cadence



Aucune différence entre les deux cadences



2 cadences différentes: 100 (ref.), 800 pps (ref&aj).
• Rectifie les différences de durée effective des sons
• Elargis la différence de cadence

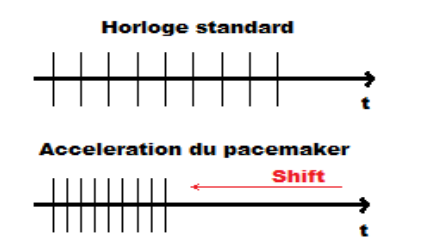
Effet significatif de l'interaction cadence * durée de référence: sur la durée ajustée (RM ANOVA $p = 0.006$).

de nouveau une sous-estimation des sons à faible cadence pour une durée de référence de 400 ms.

Le son ajusté est placé en 1^{ère} position.
Existe t-il un effet lié à la position du son de référence ?

OUI : Pas de différence entre les deux cadences .

Effet possible : les jugements de durées sont issus d'une horloge interne de type pacemaker (Penton-Voak, 1996). La présence d'un train d'impulsions de faible cadence pourrait accélérer ce pacemaker et provoquer une perception de durée du son suivant plus courte.



Oui, on observe que les sons décroissants sont perçus comme plus courts que le son stationnaire.

Les résultats montrent une interaction de la rampe avec la durée (RM ANOVA $p = 0,02$): plus le son est long plus et son enveloppe décroissante, plus l'erreur de perception de durée est importante.

Les estimations de sons à 400 ms sont progressivement sous-estimées de 382.83ms (aucune rampe) à 334.03ms (asymptote à 20 dB en dessous du niveau sonore d'origine).

Références:

- E. Javel, Long-term adaptation in cat auditory-nerve fiber response, 1996 Acoustical Society of America, **43.64.Pg**, **43.64.Ld**, 43.66.Ba, 43.66.Cb.
- I. S. Penton-Voak, Helen Edwards, Andrew Percival, and J. H. Wearden University of Manchester, Speeding Up on Internal Clock in Humans? Effects of Click Trains on Subjective Duration, Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 1996, Vol. **22** No. **3**, 307-320.
- J. Woo, Charles A. Miller, The Dependence of Auditory Nerve Rate Adaptation on Electric Stimulus Parameters, Electrode Position, and Fiber Diameter: A Computer Model Study, J Assoc Res Otolaryngol. 2010 June; **11**(2): 283-296.
- Marcia J. Hay-McCutcheon, Carolyn J. Brown, and Paul J. Abbas. An analysis of the impact of auditory-nerve adaptation on behavioral measures of temporal integration in cochlear implant recipients. J. Acoust. Soc. Am. Volume **118**, Issue **4**, pp. 2444-2457 (2005).
- M. Grassi, C.J. Darwin The subjective duration of ramped and damped sounds, perception & psychophysics, 2006, **68**(8), 1382-1392.
- RS. Schlauch, DT. Ries, and JJ. Digiovanni Duration discrimination and subjective duration for ramped and damped sound, 2001, **10.1121/1.1372913**.
- Shackleton TM, Liu F, Palmer AR, Responses to diotic, dichotic, and alternating phase harmonic stimuli in the inferior colliculus of guinea pigs. J Ass Res Otolaryngol 2009 Mar;**10**(1):76-90. Epub 2008 Dec 17.
- Zhang F, Miller CA, Robinson BK, Abbas PJ, Hu N. Changes across time in spike rate and spike amplitude of auditory nerve fibers stimulated by electric pulse trains. J Assoc Res Otolaryngol. 2007;**8**:356-372. doi: 10.1007/s10162-007-0086-7.
- C.W. Parkins, Temporal response pattern of auditory nerve fibers to electrical stimulation ins deafness squirrel monkeys, Hearing research, 41 (1989) 137-168