

Rapport de stage de  
MASTER II - ATIAM

UNIVERSITE Paris 6 - IRCAM - CNRS

Mars - Août 2011

**Influence de la durée perçue sur l'asymétrie de sonie  
globale entre son croissant et décroissant en intensité**

**Mesure de la durée perçue**

**Michaël Vannier**

Stage effectué au  
LABORATOIRE DE MÉCANIQUE ET D'ACOUSTIQUE

Equipe PA - *Psychoacoustique*  
en collaboration avec l'IRCAM  
Equipe PDS - *Perception et Design Sonores*

*Sous la direction de :*  
Sabine MEUNIER (LMA) et Patrick SUSINI (IRCAM)



# Remerciements

Je commencerai tout d'abord par remercier très chaleureusement mes deux tuteurs de stage Sabine Meunier et Patrick Susini pour leur gentillesse, leur disponibilité, la qualité de l'encadrement qu'ils ont su m'offrir tout au long de ce stage ; mais également pour le plaisir de la recherche et l'engouement pour l'étude de la perception qu'ils ont su me transmettre. Je ne manquerai pas de remercier également toutes les personnes présentes dans l'équipe de psychoacoustique durant mon stage pour leur aide et la qualité de l'accueil qu'ils m'ont offert. Merci à Françoise Dubois et Pierre-Yohan Michaud pour le temps qu'ils m'ont consacré et tout ce qu'ils ont su m'apporter pendant 6 mois. Un remerciement spécial à Jacques Chatron pour son aide précieuse, sa bonne humeur et ses oreilles.

Enfin, un très grand merci à Romain Bienvenu, Jacques Chatron, Françoise Dubois, Alexis Guilloteau, Sabine Meunier, Pierre-Yohan Michaud, Guy Rabau, Patrick Susini et Etienne Thoret pour leur aide et leur patience durant toutes les heures qu'ils ont consacrées en cabine audiométrique, et sans qui ce rapport n'aurait pas lieu d'être.



# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>I Etat de l'art</b>	<b>9</b>
I.1 Introduction . . . . .	9
I.2 Sonie globale . . . . .	9
I.3 Variation de sonie . . . . .	11
I.4 Durée subjective . . . . .	11
I.5 Sonie globale et durée . . . . .	13
I.6 Hypothèses cognitives et sensorielles sur l'asymétrie de durée perçue et de sonie . . . . .	13
I.7 Conclusion . . . . .	16
<b>II Expérimentations</b>	<b>17</b>
II.1 Mise en place d'un protocole expérimental . . . . .	17
II.1.1 Paradigme expérimental . . . . .	17
II.1.2 Mesure de la durée perçue . . . . .	18
II.1.2.1 Contexte et choix d'une méthode de mesure . . . . .	18
II.1.2.2 Mesure du seuil de discrimination . . . . .	21
II.2 Expérience I : Mesure de la durée perçue de sons « longs » . . . . .	22
II.2.1 Expérience I-A : Discrimination en durée . . . . .	22
II.2.1.1 Participants . . . . .	22
II.2.1.2 Stimuli . . . . .	22
II.2.1.3 Dispositif . . . . .	23
II.2.1.4 Procédure . . . . .	23
II.2.1.5 Résultats et discussion . . . . .	24
II.2.2 Expérience I-B : Durée d'égalité subjective entre rampes croissantes et décroissantes . . . . .	26
II.2.2.1 Participants et Stimuli . . . . .	26
II.2.2.2 Procédure . . . . .	26
II.2.2.3 Résultats et discussion . . . . .	27
II.3 Expérience II : Mesure de la durée perçue de sons « courts » . . . . .	31
II.3.1 Expérience II-A : Discrimination en durée . . . . .	31
II.3.2 Stimuli et procédure . . . . .	31
II.3.2.1 Résultats et discussion . . . . .	31
II.3.3 Expérience II-B : Durée d'égalité subjective entre rampes croissantes et décroissantes . . . . .	33
II.3.3.1 Stimuli et procédure . . . . .	33
II.3.3.2 Résultats et discussion . . . . .	33
II.4 Discussion générale . . . . .	35
<b>Conclusion</b>	<b>39</b>
<b>Annexes</b>	<b>45</b>



# Introduction

Ce document présente le résultat de mes recherches menées dans le cadre de mon stage de Master II au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA), Unité Propre de Recherche du CNRS de Marseille. Le stage s'est déroulé au sein de l'équipe psychoacoustique (PA) sous la tutelle de Sabine Meunier (chargée de recherche au LMA) et Patrick Susini (responsable de l'équipe Perception et Design Sonores à l'IRCAM). Il s'inscrit dans la lignée des nombreux travaux sur la sonie menés dans ces laboratoires à travers une approche psychophysique des mécanismes de la perception. L'une des principales concrétisations de ces recherches est la mise en place de modèles de plus en plus élaborés permettant de prédire la sonie d'un stimuli au cours du temps à partir de ses propriétés physiques.

Plus particulièrement, ce stage constitue la suite de travaux déjà menés dans l'équipe PA et dans l'équipe PDS sur l'étude de la sonie des sons non-stationnaires, en l'occurrence, de rampes dont le niveau croît ou décroît linéairement au cours du temps (Trapeau, 2009; Paindavoine, 2010; Ponsot, 2010; Susini *et al.*, 2010). Selon la littérature et ces travaux, il existe des asymétries de sonie entre rampe croissante et décroissante se manifestant par une sous-estimation de la sonie des rampes décroissantes. Les mêmes asymétries sont observées pour la durée perçue, les rampes croissantes étant perçues plus longues que les rampes décroissantes. De plus, Paindavoine (2010) a mis en évidence l'influence de la durée sur la sonie en montrant que la sonie globale des rampes croissantes et décroissantes augmentait avec la durée de manière significative (pour des durées allant de 500 ms à 10 s, pour des plages de variation en niveau constantes). La question qui se pose alors est la suivante : Existe-t-il une interaction entre la sonie et la durée subjective ? Auquel cas, quelle serait la nature de cette interaction et pourrait-elle expliquer les asymétries de sonie pour les profils temporels étudiés ?

Ainsi, le sujet proposé est fondé sur l'hypothèse d'une influence de la durée perçue sur le jugement de sonie globale. De manière plus précise, l'hypothèse est qu'une asymétrie en durée perçue entre rampes croissantes et décroissantes contribuerait à l'asymétrie en sonie pour les mêmes stimuli. L'objectif du travail présenté ici est d'examiner cette hypothèse.

La ligne directrice que nous avons choisie afin de répondre à cette problématique s'articule en trois étapes :

- Réaliser une mesure de sonie globale pour des rampes croissantes et décroissantes pour trois durées différentes (500, 1000 et 2000 ms) afin de reprendre l'étude précédente de Paindavoine (2010). Le résultat attendu est une augmentation de la sonie globale avec la durée (à la fois pour les rampes croissantes et décroissantes) ainsi qu'une sous-estimation de la sonie des rampes décroissantes.
- Mettre en place une méthode de mesure permettant d'ajuster en durée perçue les rampes croissantes avec les rampes décroissantes, sachant que la littérature révèle des asymétries en durée perçue pour des sons crescendo et decrescendo de quelques dizaines de millisecondes à 1 s.
- Réaliser une nouvelle mesure de sonie globale en procédant strictement comme dans la première étape, mais en utilisant les rampes ajustées en durée subjective au cours de la deuxième étape. Ainsi, en comparant les asymétries de sonie entre rampe croissante et décroissante avant et après ajustement de la durée perçue, il sera possible de conclure en partie sur l'influence de la durée subjective dans l'estimation de sonie.

Les choix réalisés au cours du stage nous ont menés à nous concentrer sur la deuxième étape du plan d'étude proposé, à savoir l'ajustement en durée des rampes croissantes et décroissantes pour qu'elles aient la même durée subjective. En effet, deux raisons principales nous ont incités à persévérer dans une étude sur la perception de la durée en anticipation des mesures de sonie. La première, d'origine méthodologique, nous a mené à mesurer les seuils de discriminations temporelles pour les différents stimuli étudiés. La seconde, fondée sur l'analyse de nos premiers résultats, est le constat de l'inexistence (ou presque) d'asymétries en durée subjective entre rampes croissantes et décroissantes pour des durées de 500, 1000 et 2000 ms. Cela nous a mené à renouveler l'expérience pour des durées plus courtes, proches de celles déjà étudiées dans la littérature, de 50, 100 et 200 ms. Les mesures de sonie restent cependant prévues à posteriori (les résultats seront présentés lors de la soutenance).

L'étude menée est présentée dans ce document. Dans une première partie nous établirons un rapide état de l'art, rendant compte des expériences menées sur la sonie et la durée subjective. Dans une deuxième partie, nous exposerons la mise en place d'un dispositif expérimental pour mesurer les différences de durée perçue entre rampes croissantes et rampes décroissantes, pour laisser place à une discussion autour des résultats obtenus.

# I Etat de l'art

## I.1 Introduction

La littérature en psychoacoustique propose de nombreuses études sur la perception des sons stationnaires, sons ne variant pas au cours du temps. Les mécanismes de la perception des sons non-stationnaires, en particulier concernant les asymétries temporelles de l'enveloppe d'amplitude, font quant à eux l'objet de recherches plus récentes et restent encore mal compris. Dans la plupart de ces études, deux principaux types de profils temporels ont été comparés : attaque lente/décroissance rapide (sons croissants) et attaque rapide/décroissance lente (sons décroissants). Il a alors été constaté que même si les sons présentaient le même spectre global, la même durée, le même niveau moyen global et la même variation de niveau, plusieurs attributs perceptifs différaient suivant le profil temporel d'un son (croissant ou décroissant). Notamment, des différences ont été relevées pour les attributs suivants :

-Sonie globale [Stecker et Hafter (2000) ; Susini *et al.* (2005) ; Susini *et al.* (2007) ; Susini *et al.* (2010)]. La sonie globale peut être définie comme la sensation du niveau perçu d'un son dans son ensemble.

-Durée subjective [Schlauch *et al.* (2001) ; Ries *et al.* (2008) ; Grassi et Darwin (2006) ; DiGiovanni et Schlauch (2007)].

-Variation de sonie [Schlauch (1992) ; Neuhoff (1998) ; Neuhoff (2001) ; Canevet *et al.* (2003) ; Teghtsoonian *et al.* (2005)]. La variation de sonie est définie comme la variation de niveau perçue, pour un son dont le niveau varie au cours du temps. La dynamique est le paramètre physique qui lui est principalement associé.

-Timbre [Akeroyd et Patterson (1995) ; Irino et Patterson (1996) ; Patterson (1994a) ; Patterson (1994b)].

Il serait intéressant de réaliser une étude comparée des résultats obtenus pour ces quatre attributs. Cependant, dans le cadre de notre étude, nous allons nous concentrer sur les différents résultats concernant la sonie globale et la durée subjective. Dans la suite, nous proposerons ainsi une synthèse des études menées dans la littérature sur ces deux points. Nous commencerons par présenter différents travaux effectués sur la sonie globale, la variation de sonie, la durée subjective et sur la relation entre sonie et durée. Puis nous présenterons les hypothèses mises en avant par les différents auteurs afin d'expliquer les résultats observés pour la sonie et pour la durée subjective.

## I.2 Sonie globale

Un certain nombre de résultats ont été obtenus sur la sonie globale des sons non stationnaires.

La sonie globale de sons non-stationnaires a été mesurée par des méthodes d'estimation directe, variant suivant les auteurs : i) Estimation de grandeur, consistant à attribuer un nombre à la sensation de niveau perçu (Susini *et al.*, 2010; Stecker et Hafter, 2000). ii) Utilisation d'une échelle analogique/catégorielle. L'auditeur doit situer son jugement sur cette échelle selon les catégories proposées. Une échelle allant de *très très faible* à *très très fort* a été utilisée par Susini *et al.* (2002, 2005, 2007). iii) Utilisation d'un dispositif d'intermodalité (cross-modal matching device). Utilisation

par exemple d'un système à retour de force, la quantité de force transmise devant correspondre à la sensation de sonie (Susini *et al.*, 2002). iv) Comparaison par paires (Stecker et Hafter, 2000), la tâche consiste à désigner lequel des deux sons est perçu le plus fort (ou le moins fort).

### **Asymétrie de sonie entre rampes croissantes et décroissantes**

Les résultats de ces différentes études ont montré que les sons croissants étaient toujours perçus comme étant plus forts que les sons décroissants pour des spectres et durées identiques (le son décroissant résultant d'une simple inversion temporelle de son homologue croissant) ; et ce à la fois pour des sons purs et pour des bruits.

Dans Stecker et Hafter (2000) ce résultat a été obtenu pour un son pur à 330 Hz et un bruit blanc par deux méthodes différentes : une méthode d'estimation de grandeur directe sur une échelle linéaire et une méthode de comparaison par paires (sélection du son de plus grande sonie globale). Les stimuli utilisés avaient une durée de 250 ms ; quatre profils d'enveloppes temporelles asymétriques différents ont été comparés. Les études de Susini *et al.* (2005, 2007) ont montré que l'asymétrie de sonie globale entre sons croissants et décroissants était aussi obtenue pour des rampes de sons purs à 1kHz (variation linéaire du niveau en dB SPL au cours du temps), et pour des durées supérieures à 2 s.

### **Dépendance de la sonie relativement au niveau dominant**

Il y a peu d'études concernant la mesure de la sonie globale en fonction de l'intensité du stimulus pour des sons non stationnaires. Dans Susini *et al.* (2010) et le rapport de stage de Trapeau (2009), on observe une augmentation de la sonie globale quand le niveau de la fin de la rampe augmente pour des rampes croissantes de durée 1,8 s et de dynamique 15 ou 30 dB. On notera que la sonie globale semble même confondue avec la sonie de fin de la rampe, ce qui pourrait laisser penser que le niveau de fin a une forte influence sur le jugement de la sonie globale des sons croissants. Cette augmentation de la sonie globale des rampes croissantes avec le niveau de fin apparaît également dans les résultats de Paindavoine (2010) pour des rampes de dynamique 15 dB et pour des durées allant de 500 ms à 10 s. De plus, ses travaux ainsi que ceux de Trapeau (2009) révèlent une augmentation similaire de la sonie globale quand le niveau du début de la rampe augmente pour les rampes décroissantes (similaire mais pas confondue), suggérant que la sonie globale pourrait être influencée en partie par le niveau de début de la rampe.

La sonie globale augmenterait donc de manière similaire avec le niveau de fin de la rampe pour les sons croissants et probablement en partie, suivant le niveau de début pour les rampes décroissantes (bien que d'autres phénomènes semblent entrer en compte pour les rampes décroissantes). Plus généralement, l'estimation de la sonie globale pour les sons non-stationnaires pourrait dépendre de l'évènement dominant dans le profil temporel, mais aussi de sa position par rapport à la fin du son. Un effet de mémoire à court-terme pourrait être une explication de la sous-estimation de la sonie des sons décroissants par rapport aux sons croissants selon Susini *et al.* (2002, 2005).

### I.3 Variation de sonie

De nombreuses études ont étudié la variation de sonie de sons non-stationnaires (e.g. Neuhoff (1998); Teghtsoonian *et al.* (2005); Canevet *et al.* (2003)). Deux approches différentes ont été envisagées pour mesurer la variation de sonie : i) Une mesure indirecte spécifique à cet attribut, consistant à évaluer en deux temps, la sonie au début puis à la fin du stimulus. La variation de sonie est déduite du rapport entre ces deux mesures. ii) Une mesure directe, à l'aide d'une méthode d'estimation de grandeur ou de l'utilisation d'une échelle analogique/catégorielle.

Dans Susini *et al.* (2010) il a été constaté que les résultats obtenus pour l'estimation directe de la sonie globale étaient similaires à ceux obtenus pour l'estimation directe de la variation de sonie concernant les sons croissants (Susini *et al.*, 2010; Teghtsoonian *et al.*, 2005; Neuhoff, 1998). La méthode de mesure pourrait alors prendre toute son importance. Une hypothèse serait de dire que le recours à une méthode d'estimation directe pour mesurer la variation de sonie pourrait inciter indirectement l'auditeur à juger la sonie globale et non la variation de niveau perçue.

De plus, d'après Teghtsoonian *et al.* (2005) et Neuhoff (1998), l'amplitude de variation de sonie des sons croissants est plus grande que pour les sons décroissants (comme pour la sonie globale), et la variation de sonie augmente avec le niveau de fin de la rampe, quel que soit le sens de variation. Ils ont utilisé une méthode de mesure directe pour mesurer la variation de sonie. Ces résultats seraient ainsi en accord avec les résultats de Paindavoine (2010) et Trapeau (2009) et conforteraient le fait que la variation de sonie et la sonie globale seraient deux paramètres confondus lorsqu'ils sont mesurés par une méthode d'estimation directe.

Cependant, il existe des différences. Teghtsoonian *et al.* (2005) et Neuhoff (1998) ont relevé une asymétrie plus grande de la perception de la variation de sonie entre sons croissants et sons décroissants lorsque le stimulus est un son pur à 1 kHz plutôt qu'un bruit. Ce résultat a été obtenu par des méthodes d'estimation de grandeur, pour des rampes variant linéairement au cours du temps sur une durée de 1,8 s.

Quant à la sonie globale, une comparaison entre un son pur à 330 Hz et un bruit large-bande a été réalisée dans l'étude de Stecker et Hafter (2000) introduite précédemment. Or, les mêmes résultats ont été obtenus pour un son pur et pour un bruit. Il n'y a pas de réduction d'asymétrie pour un bruit, comme l'avaient constaté Teghtsoonian *et al.* (2005) et Neuhoff (1998) pour le jugement direct de la variation de sonie.

### I.4 Durée subjective

Quelques auteurs se sont également attachés à étudier la durée perçue des sons non-stationnaires.

Deux méthodes principales de mesures ont été utilisées pour mesurer la durée subjective : i) une méthode d'estimation de grandeur, consistant à attribuer un nombre correspondant à la sensation de durée perçue (Schlauch *et al.*, 2001), ii) une méthode d'ajustement, consistant à ajuster un stimulus de durée variable à un stimulus de référence pour qu'ils aient la même durée subjective (DiGiovanni et Schlauch, 2007; Grassi et Darwin, 2006; Ries *et al.*, 2008).

On notera que Susini *et al.* (2007) ont également proposé une estimation de la durée perçue à partir des profils de sonie obtenus par une méthode de mesure continue de la sonie.

Différentes études ont montré qu'il existait également des asymétries entre sons croissants et sons décroissants concernant la durée perçue.

En 2001, Schlauch, Ries et DiGiovanni ont mesuré la durée subjective pour des sons à croissance et décroissance exponentielles de 10, 25, 50, 100 et 200 ms. Des sons purs de 1kHz et de 8kHz ainsi qu'un bruit large bande ont été utilisés. Ils ont alors constaté que les auditeurs sous-estimaient toujours la durée des sons décroissants par rapport aux sons croissants, que l'on eut recours à une méthode d'estimation de grandeur ou à une méthode d'ajustement. Ils ont également constaté que cette asymétrie était plus grande pour les sons purs que pour le bruit large bande.

En 2006, Grassi et Darwin ont cherché à prolonger les travaux de Schlauch *et al.* (2001) pour des sons de durée supérieure à 200 ms. Les sons utilisés étaient à croissance et décroissance cosinusoidale ou exponentielle. Leur durée variait entre 250 et 1000 ms. Deux timbres étaient comparés : un bruit blanc et un son harmonique composé d'une fondamentale à 500 Hz et des dix premières harmoniques. Les résultats obtenus par une méthode d'ajustement ont permis d'observer des asymétries en faveur des rampes croissantes pour toutes les durées et les deux types d'enveloppe (cosinusoidale ou exponentielle). Une réduction significative des asymétries avec la durée a été constatée pour le son harmonique.

Dans la première partie de leur étude, Ries *et al.* (2008) ont mesuré la durée perçue pour un bruit large bande à l'aide d'une méthode d'ajustement. Des durées de 10, 25, 50, 100, 200 et 500 ms ont été testées. Des asymétries entre rampes croissantes et décroissantes ont été relevées pour toutes les durées. Les résultats ont montré un effet significatif de l'ordre de présentation de la rampe (rampe croissante présentée dans le premier ou dans le deuxième intervalle). Les résultats ont mis également en avant un effet significatif de la durée sur les asymétries, ces dernières tendant à se réduire quand la durée augmente. Les asymétries ont été estimées maximales entre 50 et 100 ms, la rampe croissante étant perçue entre 1,7 et 1,9 fois plus longue que la rampe décroissante.

D'une manière similaire, DiGiovanni et Schlauch (2007) ont utilisé une méthode d'ajustement afin de mesurer la durée perçue pour un bruit large bande et pour des durées de 50 et 500 ms. De la même manière que Schlauch *et al.* (2001) observaient que les sons croissants étaient jugés 1,45 et 1,63 fois plus longs que les sons décroissants à 50 et 200 ms respectivement, DiGiovanni et Schlauch (2007) ont montré que les sons croissants étaient perçus respectivement 1,46 et 1,85 fois plus longs que les sons décroissants pour les mêmes durées.

D'une manière générale, les différents auteurs ont montré que les sons croissants étaient jugés plus longs que les sons décroissants. De plus, selon Schlauch *et al.* (2001), cette asymétrie serait plus importante pour des sons purs que pour un bruit et ne dépendrait pas de la méthode de mesure utilisée. On notera que malgré la réduction apparente des asymétries pour un bruit, d'importantes asymétries restent cependant observées par Ries *et al.* (2008) pour un bruit large bande. Enfin, une réduction des asymétries avec la durée est également observée dans plusieurs études pour des sons harmoniques et pour des bruits.

A partir de ces observations générales, les hypothèses et les expérimentations diffèrent selon les auteurs. Certaines hypothèses semblent rejoindre les hypothèses formulées pour expliquer les asymétries en sonie. Cette discussion fait l'objet du paragraphe I.6.

## I.5 Sonie globale et durée

Enfin, il existe quelques résultats concernant la variation de la sonie globale en fonction de la durée.

Susini *et al.* (2002, 2007) ont étudié des rampes croissantes et décroissantes (60 à 80 dB – 80 à 60 dB) dont la durée varie entre 2 s et 20 s. Chaque rampe croissante ou décroissante possède un plateau de 3 s à 60 dB situé respectivement au début ou à la fin. L'étude est menée pour des sons purs de 1 kHz. Par une méthode d'estimation directe de la sonie globale, il apparaît que la sonie des rampes croissantes augmente avec la durée, tandis qu'il n'y a pas de variation significative constatée pour les rampes décroissantes. Cependant, les travaux de Paindavoine (2010) offrent des résultats différents pour les sons décroissants. Comme dans Susini *et al.* (2002, 2007), des rampes de sons purs à 1 kHz sont utilisées ; il n'y a en revanche pas de plateaux au début ou à la fin des rampes. La variation de niveau est fixée à 15 dB (50 à 65 dB, . . . , 70 à 85 dB) et la durée des rampes évolue de 500 ms à 10 s. Or, pour toutes les rampes décroissantes, la sonie globale augmente avec la durée, de manière similaire à l'évolution des rampes croissantes (en contradiction avec l'effet de mémoire à court terme mis en avant par Susini *et al.* (2002, 2005)). Les résultats coïncident donc pour les rampes croissantes dont la sonie globale augmente avec la durée, alors que les résultats concernant les rampes décroissantes divergent. Cela pourrait éventuellement s'expliquer par un biais engendré par les plateaux de 3 s à 60 dB à la fin des rampes décroissantes dans l'expérience de Susini *et al.* (2005, 2007), incitant l'auditeur à juger la sonie du plateau plutôt que la sonie de la rampe. L'évolution de la sonie globale des rampes décroissantes en fonction de la durée nécessiterait ainsi des études complémentaires.

## I.6 Hypothèses cognitives et sensorielles sur l'asymétrie de durée perçue et de sonie

Plusieurs hypothèses ont été avancées afin d'expliquer les asymétries perceptuelles entre sons croissants et sons décroissants. Deux principales hypothèses sont présentées ici, elles permettraient à la fois d'expliquer les asymétries dans l'estimation de la sonie globale et de la durée subjective :

1) Une de nature plutôt cognitive, nommée « Perceptual constancy » ou « Echo Hypothesis », introduite dans Stecker et Hafter (2000). Cette hypothèse vise à expliquer la sous-estimation de la sonie des sons décroissants par un effet de constance perceptuelle. Dans le domaine du visuel, cet effet est un exemple bien connu : lorsqu'un objet s'éloigne, il n'est pas jugé pour autant plus petit. Le cerveau semble compenser l'éloignement de l'objet afin de lui associer une taille constante. Appliqué aux sons décroissants, cet effet inciterait ainsi l'auditeur à considérer un simple éloignement du son et non une baisse de niveau. Cela se traduirait alors par une exclusion dans le jugement de la queue du son, étant interprétée comme de la réverbération (un écho) et non comme étant intrinsèque au son. Stecker et Hafter (2000) ont mis en avant l'analogie forte qui existe entre les stimuli décroissants utilisés et la décroissance de sons enregistrés dans une acoustique réverbérante réelle. Notre jugement serait donc basé non pas sur le stimulus dans sa globalité, mais sur le stimulus qui correspondrait à la source dans un environnement réverbérant.

Cette hypothèse a été reconsidérée par DiGiovanni et Schlauch (2007), Ries *et al.* (2008),

Schlauch *et al.* (2001) et Grassi et Darwin (2006) afin d'expliquer les asymétries observées dans les mesures de durée perçue.

2) Une autre, de nature plutôt sensorielle, vise à expliquer la surestimation de la durée et de la sonie des sons croissants par un effet de « persistance » qui serait directement lié au masquage temporel induit par le fort niveau de fin. En effet, selon Miller (1948), Plomp (1964), Zwislocki *et al.* (1959), la sensation auditive correspondant à un son ne s'interrompt pas de manière instantanée avec la fin du stimulus, mais diminuerait de manière exponentielle après la fin du son. Les travaux de Fastl (1976, 1977b, 1979) sur le masquage non simultané ont permis de mettre en avant ce phénomène. Ainsi, il y aurait une persistance sensorielle pour les sons croissants associée à la quantité de masquage antérieur induite par le niveau de fin élevé (en comparaison à la quantité de masquage induite par le faible niveau de fin des sons décroissants équivalents). Les patterns de masquage antérieur pourraient ainsi être interprétés comme le degré de persistance de l'excitation induite par la rampe après la fin du son (Fastl, 1984; Zwicker et Fastl, 1999). Une estimation de la persistance par les patterns de masquage antérieur a été introduite dans les modèles de sonie et de durée subjective proposés par Zwicker (1977); Fastl (1977a); Fastl *et al.* (2002). Les patterns de masquage représenteraient l'excitation neuronale à certains niveaux du système auditif, et la différence entre ces patterns traduirait donc la différence de perception entre sons croissants et décroissants.

Ces deux hypothèses pourraient expliquer les asymétries perceptuelles entre un son croissant et un son décroissant, à la fois pour la durée perçue et pour la sonie. Dans le cadre de notre étude, il peut être intéressant de voir comment ces hypothèses ont été abordées par les différents auteurs afin d'expliquer les asymétries en durée perçue, en particulier.

D'après DiGiovanni et Schlauch (2007) , il y aurait une attitude naturelle à éliminer une portion de la queue des sons décroissants, ségrégation effectuée au niveau du système central. Dans le but de confirmer cette hypothèse, les auteurs ont montré que si on conditionnait l'auditeur en insistant sur le fait qu'il faille juger la durée du son dans sa globalité et ne pas négliger la fin des sons décroissants, il y avait une réduction notable des asymétries de durée perçue entre sons croissants et sons décroissants. Cependant, cette réduction n'étant pas à la hauteur des asymétries observées en l'absence de consigne particulière donnée aux auditeurs, les auteurs ont formulé l'hypothèse que les asymétries restantes étaient la conséquence d'un processus sensoriel. Dans une seconde partie de l'étude, DiGiovanni et Schlauch (2007) ont donc élaborés des patterns de masquage afin d'étudier cette nouvelle hypothèse. Des bruits large bande de croissances ou décroissances exponentielles, de durée 50 ms et 500 ms ont été utilisés. Le niveau des maxima a été fixé à 80 dB SPL pour une variation de 42 dB. Les mesures de seuil ont alors permis de mettre en avant que l'extension temporelle des sons due au masquage est plus grande pour les sons croissants que pour les sons décroissants. Comme nous l'avons mentionné plus haut, ce résultat est dû notamment au fort niveau de fin des sons croissants en comparaison aux sons décroissants, induisant une quantité de masquage antérieur plus importante. Le masquage permettrait ainsi d'expliquer une petite partie des asymétries dans la durée subjective des sons croissants et décroissants par un effet de persistance, mais ne permettrait pas d'en justifier la totalité.

La formulation d'une hypothèse double, sensorielle et cognitive pourrait ainsi justifier l'ensemble des résultats obtenus par DiGiovanni et Schlauch (2007).

De la même manière, Schlauch *et al.* (2001) s'appuient sur ces deux hypothèses pour expliquer les asymétries en durée qu'ils observent. En effet, selon eux, il y aurait une double explication aux différences observées : cognitive et sensorielle. La première serait basée sur « l'Echo Hypothesis » de Stecker et Hafter (2000) (ségrégation perceptuelle d'une partie de la queue des sons décroissants) , tandis que la deuxième serait plutôt en lien avec une asymétrie dans les profils de masquage temporel.

Dans le prolongement des travaux de Schlauch *et al.* (2001), Grassi et Darwin (2006) cherchent à évaluer la contribution des facteurs sensoriels sur les asymétries en durée subjective, en mesurant le temps de réaction des auditeurs à l'attaque et à la fin des sons testés. Le test se déroule en trois phases : i) une estimation de la durée perçue par une méthode d'ajustement, ii) une mesure du temps de réaction simple (détection à l'attaque et à la fin), iii) une estimation de la portion des sons qui ne contribuerait pas à la durée perçue. Une méthode adaptative à choix forcé sur deux intervalles a permis de comparer la durée perçue d'un stimulus à croissance ou décroissance exponentielle (son test) avec un stimulus similaire amputé d'une partie de durée variable au début (sons croissants) ou à la fin (sons décroissants).

Dans la phase ii) du test, une estimation de la durée perçue a été calculée à partir des mesures du temps de réaction suivant la règle de calcul suivante :  $DureePercue = Duree + TR_{offset} - TR_{onset}$ . La mesure du temps de réaction permettrait de s'affranchir des facteurs cognitifs et de rendre compte de la contribution des paramètres sensoriels dans la perception de la durée. Finalement, les asymétries mises en avant par l'expérience sur le temps de réaction n'ont pas suffi à justifier la sous-estimation des sons décroissants (plus grande) mesurée par ajustement, favorisant l'approche cognitive de Stecker et Hafter. La phase iii) du test offre des résultats similaires à la phase ii) et apportent les mêmes conclusions.

L'approche de Ries *et al.* (2008) quant à elle, vise à évaluer dans quelle mesure le masquage temporel entre en compte dans l'estimation de la durée et de la sonie globale. L'étude a porté sur des bruits large bande croissants et décroissants (évolution exponentielle) d'une durée de 10 à 500 ms. La première partie de l'étude a consisté à mesurer la durée et la sonie perçues par une méthode d'ajustement. Puis, une méthode adaptative de mesure de seuils a permis de dessiner les patterns de masquage temporel induits par les enveloppes asymétriques des bruits masquants. Ainsi des modèles de prédiction de la durée et de la sonie perçues, basés sur ces résultats, ont été élaborés et comparés aux mesures de départ. Concernant la sonie, deux modèles ont récemment été implémentés en extension du modèle de Zwicker (1977) : celui de Chalupper et Fastl (2002) et celui de Glasberg et Moore (2002). Ces deux modèles pour des sons non stationnaires basent leurs prédictions sur les patterns d'excitation neuronale en réponse à un stimulus et supposent que la sonie augmente rapidement avec l'onset du son mais décroît plus lentement après la fin du stimulus (persistance). Or, il se trouve que les prédictions obtenues par ces modèles sont en accord avec les mesures obtenues lors de la tâche d'ajustement de la sonie. En revanche, concernant la durée, le modèle utilisé et basé sur l'extension des patterns de masquage mesurés n'a pas suffi pas à expliquer les différences de durée subjective mesurées entre sons croissants et décroissants.

Reste donc à savoir comment ces deux hypothèses peuvent se combiner entre elles afin de justifier les asymétries observées entre sons croissants et sons décroissants à la fois pour la sonie et pour la durée. D'autres hypothèses ont été évoquées mais n'ont pas fait l'objet d'une étude approfondie comme par exemple l'effet de mémoire mis en avant par Susini *et al.* (2002, 2005) ou les effets de contexte mis en avant par Stecker et Hafter (2000) et Ries *et al.* (2008).

## I.7 Conclusion

Pour conclure, les résultats existants sur les sons non stationnaires sont encore peu nombreux et concernent principalement les profils temporels hautement asymétriques (sons croissants et sons décroissants). Ils permettent notamment de constater une relation assez étroite entre la durée perçue et la sonie globale pour ce type de sons. En effet, la sonie globale semblerait dépendre directement de la durée ; la sonie augmentant avec la durée à la fois pour les sons croissants et pour les sons décroissants de manière similaire. De plus, que l'on mesure la durée subjective ou la sonie globale, des asymétries perceptuelles entre sons croissants et sons décroissants ont été relevées ; et ces asymétries semblent se plier à une tendance commune. D'une part, les sons croissants sont perçus à la fois plus fort et plus longs que les sons décroissants. D'autre part, cette asymétrie est réduite pour la durée lorsque le stimulus est un bruit et non plus un son harmonique. Elle l'est également pour la variation de sonie estimée par une méthode d'estimation directe. Et même si les travaux de Stecker et Hafter (2000) n'ont pas permis d'apporter de conclusions pour la sonie globale, le lien fort exercé par la méthode d'estimation directe entre variation de sonie et sonie globale, laisse supposer une réduction de l'asymétrie pour un bruit, à la fois pour la durée et pour la sonie globale.

Selon Grassi et Darwin (2006), une tendance commune tendrait à se dégager des différents résultats de la littérature. Que l'on mesure la durée subjective, la sonie, ou le timbre, l'asymétrie perceptuelle aurait toujours les mêmes propriétés :

- On obtiendrait toujours des résultats plus « conséquents » pour les sons croissants que pour les sons décroissants.
- Il y aurait une réduction partielle ou totale de l'asymétrie lorsque l'on passe d'un son pur ou harmonique à un bruit.
- Plus l'asymétrie temporelle de l'enveloppe d'amplitude (induite par la fonction modulante) serait importante, plus les asymétries observées entre un son croissant et un son décroissant pour un attribut donné seraient grandes.

Nos conclusions confirment en partie l'idée de Grassi et Darwin (2006) quant à l'existence de propriétés communes pour l'asymétrie perceptuelle entre sons croissants et sons décroissants concernant plus précisément la perception de la durée et de la sonie. Ces analogies nous amènent à nous interroger sur l'éventualité d'une corrélation entre les deux attributs. De plus, les travaux de Paindavoine (2010) ont montré que la sonie augmentait avec la durée pour des sons croissants et décroissants. La question se pose alors de savoir si l'augmentation de la sonie avec la durée ne s'expliquerait pas par le fait que les auditeurs jugent la durée plutôt que la sonie. La perception de la sonie serait alors influencée ou confondue par la durée perçue.

Le sujet proposé est ainsi fondé sur l'hypothèse d'une influence de la durée perçue sur le jugement de sonie globale. De manière plus précise, l'hypothèse est qu'une asymétrie en durée perçue entre rampes croissantes et décroissantes contribuerait à l'asymétrie en sonie pour les mêmes stimuli.

Dans la suite, un plan d'étude sera proposé dans le but de vérifier cette hypothèse.

## II Expérimentations

Cette partie a pour objectif de rendre compte de la démarche adoptée dans la mise en place du protocole expérimental et de l'évolution de cette démarche en vue des premiers résultats. Dans un premier temps, nous nous axerons sur la mise en place du protocole expérimental, en commençant par exposer le projet dans sa généralité, tel que nous l'avons imaginé au début du stage. Cependant, comme indiqué en introduction, des problèmes méthodologiques et des résultats inattendus nous ont mené à concentrer nos recherches sur les questions soulevées par l'égalisation en durée subjective entre une rampe croissante et une rampe décroissante. Dans un deuxième temps, nous détaillerons les deux expériences réalisées pour ajuster les rampes en durée subjective (pour des durées de 500, 1000 et 2000 ms puis de 50, 100, et 200 ms), et nous expliquerons en quelles circonstances les résultats de la première expérience ont induit la deuxième.

### II.1 Mise en place d'un protocole expérimental

#### II.1.1 Paradigme expérimental

Le but de mon stage, dans sa généralité, est d'étudier la relation entre durée perçue et sonie et de mettre en évidence une éventuelle influence de la durée subjective dans le jugement de sonie globale. Notre hypothèse est que les asymétries observées en sonie sont en partie dues à des asymétries dans le jugement de la durée. L'objectif de notre étude était alors de rechercher le lien entre les asymétries en sonie et en durée perçue, ce qui permettrait d'avancer dans la compréhension du couplage entre les deux attributs.

Dans un premier temps, nous avons décidé de mettre en place un paradigme expérimental en trois étapes (Figure 1) :

- **Étape 1** : Reprendre les travaux de Paindavoine (2010) en mesurant la sonie pour des rampes croissantes et décroissantes et pour trois durées différentes. Cela permettrait de valider les résultats (asymétries en sonie entre rampes croissantes et décroissantes, évolution de la sonie avec la durée pour les deux types de rampes) pour de nouveaux auditeurs en utilisant une autre méthode de mesure. Nous avons opté pour une méthode adaptative à choix forcé sur deux intervalles, la rampe croissante étant comparée à un son stationnaire de durée identique à celle de la rampe. Le choix des durées a été effectué avant tout sur la base des durées utilisées par Paindavoine (2010), nous avons choisi des rampes de 500, 1000 et 2000 ms. Tandis que les rampes de 500 ms permettent de se rapprocher de la littérature pour les mesures sur la durée (Grassi et Darwin, 2006; Ries *et al.*, 2008; DiGiovanni et Schlauch, 2007), les rampes de 2000 ms permettent de se rapprocher de la littérature concernant les mesures de sonie globale (Susini *et al.*, 2002, 2005, 2007, 2010; Trapeau, 2009).
- **Étape 2** : Figurer le paramètre « durée perçue », en ajustant rampes croissantes et rampes décroissantes à durée subjective égale, et cela pour chacune des trois durées. Cela permet ainsi de s'affranchir des effets de la durée perçue dans le jugement de sonie globale entre rampe croissante et rampe décroissante.

- **Etape 3** : Réaliser une nouvelle mesure de sonie pour les trois durées choisies, strictement dans les mêmes conditions que dans l'étape 1, mais en utilisant cette fois-ci les paires de rampes (croissante / décroissante) ajustées à durées subjectives égales. Ainsi, la comparaison des résultats obtenus pour les étapes 1 et 3 donnera une indication sur le rôle de la durée perçue et des asymétries en durée, dans les asymétries observées pour le jugement de la sonie.

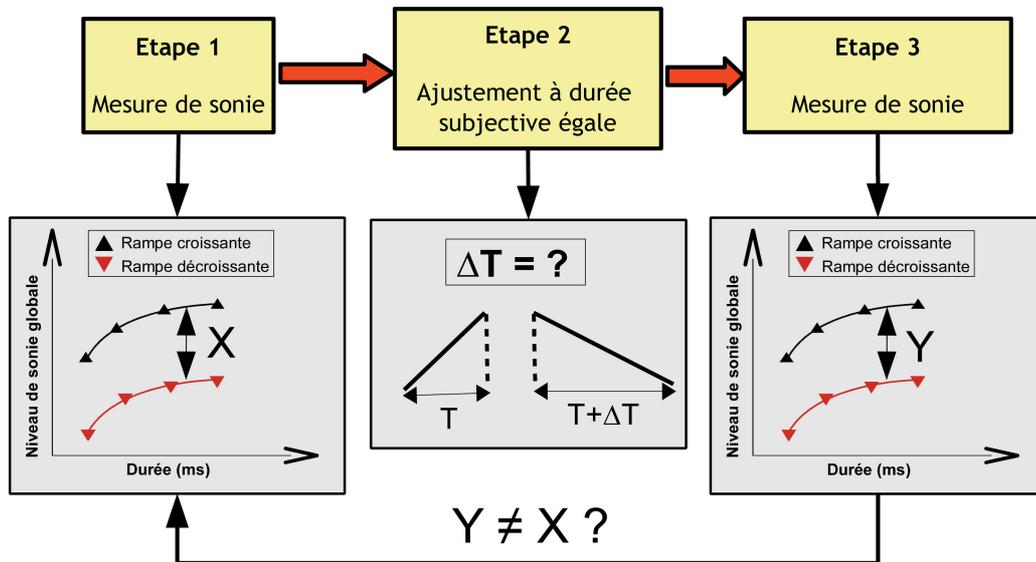


FIG. 1 - Paradigme expérimental

## II.1.2 Mesure de la durée perçue

Avant de mesurer la sonie, nous avons décidé de nous concentrer sur l'égalisation des durées subjectives afin de nous assurer que nous observions bien les asymétries attendues dans nos conditions expérimentales. Comme indiqué dans l'introduction, cette question est devenue centrale et sera l'objet de ce rapport. Ainsi, cette partie présente la démarche de mise en place de la méthode de mesure adoptée pour l'égalisation en durée subjective entre rampe croissante et décroissante, soit l'étape 2 du paradigme expérimental présenté précédemment.

### II.1.2.1 Contexte et choix d'une méthode de mesure

Il y a peu de littérature sur la mesure de la durée perçue pour des sons non-stationnaires. Cependant il peut être intéressant de rappeler les méthodes utilisées par les quelques auteurs qui s'y sont attelés. Nous proposons ainsi de présenter un récapitulatif des différentes méthodes utilisées sous forme d'un tableau (Figure 2).

On constate qu'il y a deux types d'approches envisagés : une mesure directe de la durée subjective (à l'aide d'une méthode d'estimation de grandeur) ou bien une mesure par comparaison par paires (à l'aide d'une méthode d'ajustement).

		Mesure de la durée perçue				
Méthode		Estimation de grandeur		Ajustement		
Auteurs/Année		Schlauch et al. (2001)	Schlauch et al. (2001)	Grassi et Darwin (2006)	Ries et al. (2008)	DiGiovanni et Schlauch (2007)
Stimuli	Nature	- Bruit large-bande - 1 KHz - 8 KHz	- Bruit large-bande - 1 KHz	- Bruit blanc - Son complexe à 500 Hz (10 premières harmoniques à amplitude égale)	- Bruit large-bande	- Bruit large-bande
	Enveloppes temporelles $w(t)$ = fenêtre rect.	Décroissance: $x(t) = e^{-5t/T} \cdot w(t)$ (T: durée de w) Lmax = 70dB (sons purs) ou 80dB (bruit) Dynamique: 42 dB	Décroissance: $x(t) = e^{-5t/T} \cdot w(t)$ (T: durée de w) Lmax = 70dB (sons purs) ou 80dB (bruit) Dynamique: 42 dB	Décroissance: $x(t) = e^{-5t/T-1} \cdot w(t) \Rightarrow E$ et $x(t) = \cos(t) \cdot w(t) \Rightarrow C$ (T: durée de w) Lmax = 65dB SPL	Décroissance: $x(t) = e^{-5t/T} \cdot w(t)$ (T: durée de w) Lrms = 70dB (bruit large bande stationnaire)	Décroissance: $x(t) = e^{-5t/T} \cdot w(t)$ (T: durée de w) Lmax = 80 dB SPL (peak) Dynamique: 42 dB
	Durée	10, 25, 50, 100, 200 ms	10, 25, 50, 100, 200 ms	250, 500, 750, 1000 ms	10, 25, 50, 100, 200, 500 ms	50 et 500 ms
	Durée entre les stimuli	5 s entre chaque stimulus	500 ms	500 ms	500 ms	500 ms
	Durée entre les paires de stimuli	1 s	1 s	1 s	1 s	1,5 s
Ordre de présentation	Intervalle 1	Stimulus à estimer	Standard ou stimulus à ajuster (50% / 50%)	Son standard de durée fixe (ER, CR, ED, CD ou son stationnaire)	Standard	Standard de durée fixe (stationnaire, < ou >)
	Intervalle 2	Types de Stimuli et durées distribués de manière aléatoire. Lumière de 35 ms juste avant la présentation d'un stimulus	Comparaisons : Stationnaire vs Stationnaire ; Stationnaire vs Stationnaire vs < ; Stationnaire vs > ; < vs > ; Pour chaque condition 10 ajustements (5 dans un sens puis 5 en inversant standard et stimulus à ajuster).	8 Blocs expérimentaux Chaque bloc contient ER, CR, ED, CD et son stationnaire de même timbre et même durée. L'auditeur réalise 10 fois chaque ajustement (50 ajustements par bloc).	Stimulus à ajuster	Son stationnaire à ajuster
Procédure				Durée initiale du son à ajuster: ± 80% du stimulus de référence (aléatoire)	Comparaisons : Stationnaire vs Stationnaire ; < vs > ; > vs < ; Pour chaque condition, 10 ajustements.	Comparaisons : < vs stationnaire ; > vs stationnaire ; stationnaire vs stationnaire. Pour chaque condition, 10 ajustements. Deux instructions différentes: (1) instruction « null » : Simplement ajuster la durée du stimulus au standard. (2) instruction « all » : Inclure la totalité de la durée du son lors du jugement, ne pas négliger la fin des sons décroissants.

FIG. 2 - Récapitulatif des différentes méthodes utilisées dans la littérature pour mesurer la durée subjective de sons dont le niveau varie au cours du temps. Les signes « < » et « > » désignent respectivement un son croissant ou un son décroissant.

On notera que la méthode d'ajustement semble particulièrement adaptée à l'évaluation des asymétries entre deux types de rampes, car elle permet de les comparer directement au sein du test, contrairement à une méthode d'estimation de grandeur. Ainsi nous avons privilégié une méthode de mesure de comparaison par paires. Cependant, la méthode d'ajustement est une méthode rapide mais peu précise et ne permet pas de situer le seuil sur la fonction psychométrique. Nous avons préféré nous orienter vers une méthode de mesure plus précise afin que la précision de l'égalisation en durée entre rampe croissante et décroissante soit suffisante pour observer la réduction supposée des asymétries en sonie. Nous avons donc choisi une méthode adaptative à choix forcé sur deux intervalles.

Une méthode adaptative pour mesurer le niveau d'égle sonie ou d'égle durée perceptive, à choix forcé sur deux intervalles, suivant une règle  $x$ -down/ $y$ -up, présente deux sons : un son test fixe et un son de comparaison variable. La tâche consiste à juger lequel des deux sons est perçu le plus fort (ou le plus long). Si le son de comparaison est jugé le plus fort (ou le plus long) durant  $x$  présentations consécutives, on diminue son niveau (ou sa durée), à hauteur du pas défini au préalable. Si le son de comparaison est jugé moins fort (ou moins long) durant  $y$  présentations consécutives, on augmente son niveau (ou sa durée), toujours à hauteur du pas défini. Une mesure s'arrête au bout de  $n$  inversions (une inversion étant définie par la transition d'un pas ascendant à un pas descendant). Le calcul du seuil correspond à la moyenne des niveaux du son de comparaison (ou des durées) aux  $m$  dernières inversions ( $m < n$ ).

Les méthodes adaptatives ont surtout été utilisées pour mesurer des seuils de détection ou estimer des niveaux d'égle sonie. Un certain nombre de biais ont été mis en évidence dans ces cas-là, nous devons donc en tenir compte. Il n'est a priori pas possible de s'affranchir de la totalité de ces biais. Par contre il est envisageable d'adapter la méthode pour en réduire ou en éliminer certains déjà connus.

Un premier type d'erreurs systématiques (Time-order errors) peut influencer les résultats d'une méthode adaptative. Pour la sonie, un auditeur aura tendance à juger le deuxième stimulus plus fort que le premier ; et cela semblerait dépendre de la durée de l'intervalle inter-stimuli (Hellstrom, 1979; Guilford, 1954). Pour minimiser cet effet, il sera préférable d'alterner de manière aléatoire, l'ordre de présentation du son test et du son de comparaison.

Les méthodes adaptatives peuvent également être sujettes à une compréhension du fonctionnement logique de l'adaptation par le sujet, qui adopte alors une stratégie de réponse afin de faire varier le paramètre étudié dans le sens qui l'intéresse (vers un niveau confortable d'écoute par exemple). Une solution peut être la même que pour les « time-order errors », à savoir alterner le sens de présentation du son test et du son de comparaison. Il est également possible d'entrelacer plusieurs mesures de seuil différentes (Cornsweet, 1962).

Un autre phénomène, l'« Induced Loudness Reduction », est la réduction de sonie d'un son pur par un autre son pur à plus fort niveau lui précédant (l'inducteur). L'ILR intervient pour des sons de fréquences proches et si l'inducteur a une durée supérieure ou égale au son réduit. L'amplitude du phénomène dépend du niveau des sons, de leurs durées, de leurs fréquences, de l'intervalle inter-stimuli, du nombre d'expositions à l'inducteur et des différences interindividuelles. L'ILR est présent dans quasiment toutes les mesures de sonie (Epstein, 2007). Il est difficile à éviter, mais une présentation aléatoire des signaux pourrait en réduire l'effet.

Enfin, un effet de contexte a priori spécifique aux sons présentant de fortes asymétries temporelles

dans leur enveloppe d'amplitude a été relevé par Stecker et Hafter (2000). En effet, réalisant des mesures de sonie à l'aide d'une procédure à choix forcé sur deux intervalles, les auteurs observent des asymétries en sonie plus grandes lorsque les stimuli à juger sont précédés d'un son décroissant plutôt qu'un son croissant. Dans le cas où c'est un son croissant qui précède les stimuli à juger, une forte réduction des asymétries en sonie est constatée.

Il aurait alors été envisageable d'associer ce phénomène à des erreurs liées à la procédure expérimentale, si les auteurs n'avaient pas à nouveau constaté cette tendance via l'utilisation d'une méthode d'estimation de grandeur. L'effet observé serait donc directement lié au processus de perception des stimuli à fortes asymétries temporelles. Les explications proposées sont de nature plutôt cognitive et reposent sur la suppression d'une partie de la décroissance des sons décroissants dans le jugement. Ce processus de suppression serait alors fortement influencé par le contexte local induit par les stimuli précédents.

Un effet de contexte similaire a été observé par Ries *et al.* (2008) pour la durée subjective. Lors de l'ajustement en durée perçue d'une rampe croissante à une rampe décroissante, les auteurs ont constaté que les différences en durée perçue entre les deux types de stimuli étaient plus grandes lorsque le son décroissant était présenté avant le son croissant qu'inversement. Une méthode d'ajustement était utilisée et le son test (son croissant ou décroissant) était toujours présenté en premier. Cela montre que les asymétries observées en sonie et en durée perçue semblent réagir aux mêmes effets de contexte.

Ainsi, nous avons privilégié une méthode adaptative à choix forcé sur deux intervalles en veillant à alterner de manière aléatoire l'ordre de présentation du son test et du son de comparaison afin de limiter les biais procéduraux ainsi que les effets de contexte relevés par Stecker et Hafter (2000) et Ries *et al.* (2008). La procédure exacte est décrite au paragraphe II.2.2.2.

### II.1.2.2 Mesure du seuil de discrimination

La mise en place de la méthode adaptative pour l'ajustement en durée subjective nous a cependant confronté à quelques difficultés. En effet, les premiers essais ont été révélateurs d'un test compliqué pour les auditeurs probablement pour plusieurs raisons. La première est peut-être la difficulté à juger la durée pour des sons de l'ordre de la seconde, difficulté accrue par le renversement temporel de l'enveloppe d'amplitude entre les deux sons à comparer. D'autre part l'auditeur semblait très rapidement perdu et incertain de sa réponse, n'ayant pas vraiment l'impression de percevoir des différences de durées significatives entre les deux stimuli durant la quasi-totalité de la mesure. S'est alors posée la question du pas d'incrémentation utilisé pour la variation en durée de la rampe de comparaison. Puisque qu'il n'existe à priori pas de littérature concernant des méthodes adaptatives pour ce type de stimuli, nous avons essayé plusieurs pas compris entre 1/10ème et 1/50ème de la durée, en vain. Nous avons donc décidé de nous intéresser au seuil de discrimination en durée pour des rampes croissantes et décroissantes qui permettrait d'ajuster le pas et d'augmenter probablement la précision et l'efficacité de la méthode.

Pour référence, Abel (1972) a établi que le seuil de discrimination pour des sons stationnaires (sons purs et bruits large-bande) était d'environ 10% de la durée du son standard. D'autre part Akeroyd et Patterson (1995) et Schlauch *et al.* (2001) ont étudié la discrimination en durée pour des sons non-stationnaires. Schlauch *et al.* (2001) ont mesuré le seuil de discrimination pour des sons croissants et décroissants de courte durée allant de 10 ms à 100 ms, à l'aide d'une procédure adaptative 3-AFC. Les résultats obtenus ont la même tendance pour l'ensemble des auditeurs. Les

rapports de Weber  $\Delta T/T$  sont significativement plus grands pour les sons croissants que pour les sons décroissants ou stationnaires, sur l'ensemble des durées considérées. Un rapprochement avec l'étude de Abel (1972) a mis en évidence des similarités dans les résultats obtenus par Schlauch *et al.* (2001) pour les bruits stationnaires et décroissants. Akeroyd et Patterson (1995) ont étudié la discrimination entre des bruits modulés par des enveloppes asymétriques périodiques croissantes (croissance lente, décroissance rapide) et décroissantes (croissance rapide, décroissance lente), à l'aide d'une procédure adaptative 2-AFC. La discrimination entre un bruit modulé par une enveloppe périodique croissante et un bruit modulé par une enveloppe périodique décroissante devenait meilleure pour les enveloppes de période longue avec l'augmentation du temps de demi-décroissance.

Nous avons donc pris la décision, par nécessité, de réaliser une mesure individuelle du seuil de discrimination pour les rampes croissantes et décroissantes que nous souhaitions ajuster en durée. Une méthode adaptative à choix forcé sur trois intervalles a ainsi été mise en place sur le modèle de l'expérience réalisée par Schlauch *et al.* (2001). Le choix d'utiliser trois intervalles repose principalement sur la volonté d'adapter la méthode à la difficulté de la tâche. Les expériences I et II décrites par la suite se décomposent alors en deux parties, une première partie dédiée à la mesure du seuil de discrimination pour les rampes croissantes et décroissantes aux durées concernées puis une deuxième partie consacrée à l'égalisation en durée subjective entre rampe croissante et décroissante.

## II.2 Expérience I : Mesure de la durée perçue de sons « longs »

La première expérience a pour but de mesurer les asymétries de durées subjectives entre rampes croissantes et décroissantes pour des durées de 500, 1000 et 2000 ms. Une mesure du seuil de discrimination en durée est réalisée au préalable pour les trois durées choisies et les deux profils temporels étudiés afin de régler le pas de la méthode adaptative utilisée pour l'ajustement en durée.

### II.2.1 Expérience I-A : Discrimination en durée

L'objectif de cette expérience est de mesurer les seuils de discrimination en durée pour des rampes croissantes et décroissantes de 500, 1000 et 2000 ms.

#### II.2.1.1 Participants

Dix auditeurs adultes (2 femmes et 8 hommes) ont été sollicités parmi le personnel et les étudiants du CNRS de Marseille pour participer à cette expérience. Aucun de ces auditeurs ne présentait de pertes auditives ou autres troubles de l'audition. La moyenne d'âge des participants était de 33 ans, les âges s'échelonnant de 23 à 54 ans. Une indemnisation de 10 euros par heure a été prise en charge par l'IRCAM pour les auditeurs participant à l'étude qui le souhaitaient. Trois auditeurs ont ainsi été indemnisés à hauteur de 80 euros par personne, somme correspondant à huit heures de participation totale sur l'ensemble des quatre tests effectués.

#### II.2.1.2 Stimuli

Tous les stimuli utilisés étaient des sons purs de fréquence 1 kHz. Les trois durées standards sélectionnées pour cette expérience étaient 500, 1000 et 2000 ms. Deux profils d'enveloppes d'amplitude variant au cours du temps ont été utilisés, correspondant à des rampes croissantes et décroissantes dont le niveau varie linéairement au cours du temps. Les rampes avaient une plage de variation

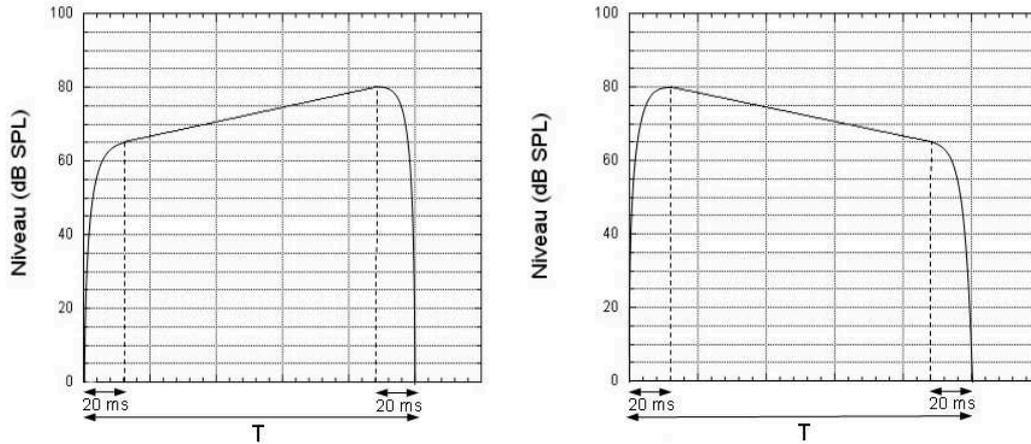


FIG. 3 - Représentation schématique de l'évolution du niveau des stimuli au cours du temps où  $T$  représente la durée totale du signal. La partie de gauche représente une rampe croissante tandis que la partie de droite représente une rampe décroissante.

allant de 65 à 80 dB SPL, correspondant à une dynamique de 15 dB. Le début et la fin des rampes ont été modulés en amplitude par des rampes linéaires, incluant une attaque et une décroissance de 20 ms, afin d'éviter des discontinuités en amplitude du signal (Figure 3).

### II.2.1.3 Dispositif

Les stimuli ont été synthétisés en temps réel par le processeur DSP RP2 du système III Tucker-Davis, via l'utilisation de l'interface logicielle dédiée RPVD. Les sons ont été quantifiés sur 24 bits pour une fréquence d'échantillonnage de 50 kHz. A la sortie des convertisseurs DAC du système III, une étape de préamplification était assurée par une carte son Edirol (Audio Capture UA-5). Enfin, les stimuli étaient restitués aux auditeurs en diotique (même son présenté aux deux oreilles) par l'intermédiaire d'un casque Sennheiser HD280. L'étalonnage de la chaîne de synthèse et de restitution a été établi sur la base des courbes d'étalonnage « au tympan » du casque. Les choix du casque, de la restitution en diotique et de l'étalonnage « au tympan » sont volontairement les mêmes que ceux établis précédemment par Paindavoine (2010). Toutes les mesures ont été réalisées dans une des deux cabines audiométriques du laboratoire. Un boîtier de réponse était mis à disposition de l'auditeur afin qu'il puisse saisir sa réponse. La présence d'un écran sur le boîtier permettait de communiquer à l'auditeur quelques repères temporels, comme l'intervalle en cours de lecture ou le moment de donner sa réponse.

### II.2.1.4 Procédure

Les seuils de discrimination ont été obtenus à l'aide d'une procédure à choix forcé sur trois intervalles, avec un critère 3-down/1-up qui estime le point à 79,4% de réponses correctes sur la fonction psychométrique (Levitt, 1971). L'ensemble du test était constitué de 12 mesures de seuils correspondant à 6 conditions différentes. Deux mesures ont été effectuées pour chaque condition, chaque condition étant caractérisée par une durée standard (500, 1000 ou 2000 ms) et un sens de variation pour la rampe (croissant ou décroissant). L'ordre de présentation des différentes mesures était soumis à un tirage aléatoire pour chaque auditeur. Le nombre d'essais de chaque mesure était

déterminé par le nombre d'inversions, la fin d'une mesure étant déclarée au bout de la 12ème inversion. A chaque essai, 3 rampes étaient présentées dont deux rampes tests strictement identiques (selon les critères de la condition) et une rampe de comparaison de durée variable. L'intervalle (1, 2 ou 3) présentant la rampe de comparaison variait de manière aléatoire d'un essai à l'autre. Nous avons choisi un critère 2-down/1-up jusqu'à la 4ème inversion afin de limiter le nombre d'essais au début. La règle devenait ensuite 3-down/1-up jusqu'à la fin de la mesure de seuil. La durée de départ de la rampe de comparaison était 2 fois la durée standard. Le pas de variation de la durée pour la rampe de comparaison variait au cours de chaque mesure, prenant les valeurs de 1/5ème de la durée au début, 1/10ème de la durée à partir de la deuxième inversion puis 1/50ème de la durée à partir de la quatrième inversion. Cela revenait à utiliser un facteur multiplicatif de 1,2 ; 1,1 ; puis 1,02 suite à une réponse fautive et de 0,8 ; 0,9 puis 0,98 suite à trois réponses correctes. La valeur du seuil mesuré était la moyenne géométrique de la durée de la rampe de comparaison aux 8 dernières inversions. Le critère de validité d'une mesure était l'infériorité de l'écart-type géométrique des valeurs aux 8 dernières inversions par rapport au pas multiplicatif final à l'exposant trois ( $1, 2^3$ ). Nous avons conservé ce critère pour la validation entre les deux mesures effectuées pour une même condition, en considérant cette fois-ci l'écart-type géométrique entre les deux seuils mesurés. Le cas échéant une nouvelle mesure était réalisée et prise en compte pour la condition concernée, jusqu'à ce que l'écart-type satisfasse le critère choisi.

Il était demandé à l'auditeur d'indiquer la rampe la plus longue parmi les trois rampes présentées.

#### II.2.1.5 Résultats et discussion

Les résultats obtenus pour la mesure du seuil de discrimination en durée sont présentés Figure 4, de manière individuelle pour les 10 auditeurs ayant participé à cette expérience.

On constate que les valeurs du rapport de Weber (seuil différentiel relatif  $\Delta T/T$ ) obtenues Figure 4 varient de manière importante entre les différents individus et que l'évolution du rapport de Weber en fonction de la durée ou du sens de variation ne semble pas avoir de tendance commune. Les différences de capacité à discriminer la durée des rampes croissantes et des rampes décroissantes sont par exemple notoires entre les sujets S1 et S8.

Une analyse statistique de type ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur les différentes variables indépendantes (durée et sens de variation). Elle ne révèle pas d'effet significatif ni de la durée [ $F(2,18)=1.39$ , NS], ni du sens de variation [ $F(1,9)=1.94$ , NS] sur le rapport de Weber (Annexe A - Figure 1).

L'étude a ensuite été complétée par une analyse factorielle en composante principale (ACP) sur les auditeurs afin de quantifier ou de mettre en avant d'éventuelles différences interindividuelles. L'ACP propose une réduction sur 3 facteurs associés aux valeurs propres 4,32 ; 2,86 ; et 1,84 (correspondant à la variance suivant chaque axe extrait par l'ACP). Cela révèle l'existence de différences interindividuelles (Annexe A - Figure 2).

Les résultats obtenus par Schlauch *et al.* (2001) pour des durées allant de 10 à 100 ms ne présentent pas de telles différences interindividuelles concernant l'évolution du rapport de Weber en fonction de la durée et du sens de variation. Une tendance commune du rapport est constatée pour les quatre auditeurs ayant participé au test. Cependant, le JND (just noticeable difference) est compris entre 10% et 40% de la durée, intervalle dans lequel se situent également nos résultats.

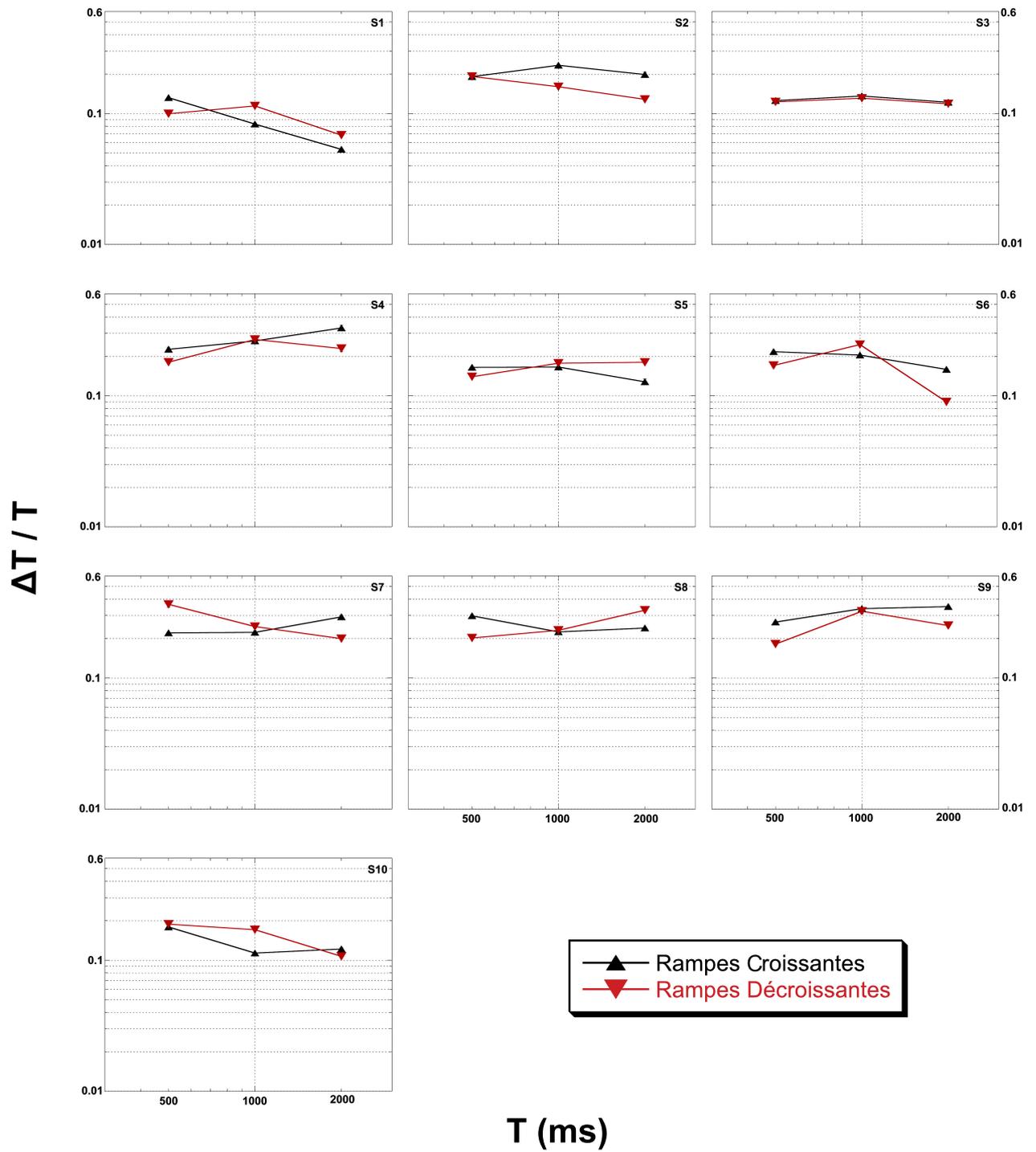


FIG. 4 - Seuil de discrimination en durée pour 10 sujets (S1, S2, ...). Représentation du rapport de Weber ( $\Delta T/T$ ) en fonction de la durée standard  $T$  (500, 1000 ou 2000 ms).  $\Delta T$  est la différence de durée entre le seuil obtenu et la durée standard.

L'objectif de cette expérience était de définir un pas en durée offrant précision et efficacité pour l'ajustement en durée subjective entre rampes croissantes et décroissantes. Etant donné les résultats obtenus, nous avons choisi d'extraire un seuil de discrimination individualisé mais moyenné sur l'ensemble des durées et les deux sens de variation, puisque ni l'effet de la durée ni l'effet du sens de variation ne se sont révélés significatifs. La valeur moyenne de la différence juste audible en durée, sélectionnée pour chaque auditeur est présentée dans le Tableau 5. La différence juste audible (ou JND pour « just noticeable difference » en anglais) est définie comme la plus petite différence audible du paramètre étudié. Dans notre étude, elle représente la différence entre la durée de la rampe de comparaison au seuil mesuré et la durée de la rampe test.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
JND (%)	8.78	18.07	12.58	24.51	15.79	17.26	25.25	25.06	27.85	14.30

FIG. 5 - Différences juste audibles (JND pour Just Noticeable Differences) moyennes pour chaque sujet, exprimées en pourcentage de la durée.

On constate alors que les seuils de discrimination s'échelonnent de 8,78% à 27,85% de la durée selon les auditeurs, soit environ, de 1/11ème à 1/4 de la durée. Or, les premiers pas testés pour l'expérience d'ajustement étaient de l'ordre de 1/20ème à 1/50ème de la durée, soit jusqu'à 5 fois inférieurs à la plus petite différence audible du sujet le plus performant pour cette tâche. Cela explique donc les difficultés rencontrées dans la mise en place de ce test.

## II.2.2 Expérience I-B : Durée d'égalité subjective entre rampes croissantes et décroissantes

L'objectif de cette expérience est de mesurer la différence de durée physique entre une rampe décroissante et une rampe croissante au point d'égale sensation de durée perçue, pour des durées de 500, 1000 et 2000 ms. Le pas d'incrémentation en durée de la procédure adaptative mise en place est fondé sur les résultats de l'expérience I-A.

### II.2.2.1 Participants et Stimuli

Les 10 auditeurs ayant participé à l'expérience I-A ont également participé à l'expérience I-B. Les stimuli et le dispositif utilisés sont aussi strictement les mêmes que dans l'expérience I-A.

### II.2.2.2 Procédure

Une procédure à choix forcé sur deux intervalles, suivant une règle 2-down/2-up, a été mise en place pour réaliser l'ajustement à durée subjective égale entre rampes croissantes et décroissantes. Chaque essai consistait en la présentation d'une rampe croissante et d'une rampe décroissante. La rampe croissante était toujours la rampe test de durée fixe (500, 1000 ou 2000 ms). La rampe décroissante était toujours la rampe de comparaison de durée variable. L'ordre de présentation de la rampe test et de la rampe de comparaison variait de manière aléatoire d'un essai à l'autre.

Nous aurions également pu choisir d'inverser le test par la suite et utiliser la rampe décroissante comme référence (ajustée aux durées obtenues avec la rampe croissante comme référence). Mais cela aurait multiplié la durée du test par deux, et ne nous semblait pas indispensable pour autant.

Une telle méthode estime le point à 70,7% de réponses positives de la fonction psychométrique (Levitt, 1971).

Les trois durées standards testées étaient 500, 1000 et 2000 ms et pour chaque mesure de seuil, deux types de départs étaient réalisés, un départ haut (durée de la rampe de comparaison grande devant le seuil recherché) ou un départ bas (durée de la rampe de comparaison petite devant le seuil recherché). Le test se décomposait en 12 mesures correspondant à six conditions, chaque condition étant définie par deux paramètres (la durée ( $\times 3$ ) et le sens du départ pour la mesure du seuil ( $\times 2$ )). Chaque mesure (pour une condition donnée) était réalisée deux fois. L'ordre de présentation des différentes mesures était soumis à un tirage aléatoire pour chaque auditeur. Le nombre d'essais de chaque mesure était déterminé par le nombre d'inversions, la fin d'une mesure étant déclarée au bout de la 12ème inversion.

La durée de départ de la rampe de comparaison était deux fois la durée standard (durée du son test) pour un départ « haut » de la mesure de seuil ou la durée standard divisée par 2 pour un départ « bas ».

Le pas d'incrémentation de la durée de la rampe de comparaison était individualisé selon la valeur du seuil de discrimination mesurée dans l'expérience I-A. De plus ce pas variait au sein d'une mesure de seuil et prenait les valeurs suivantes :  $round(2 \times (JND \times T))$  au début,  $round(JND \times T)$  à partir de la deuxième inversion puis  $round((JND \times T)/1, 2)$  à partir de la quatrième inversion (où  $T$  désigne la durée de la rampe de comparaison,  $JND$  désigne le seuil de discrimination en pourcentage de la durée et  $round$  représente l'arrondi à l'entier le plus proche). Le pas final de chaque mesure de seuil a été choisi inférieur au seuil différentiel, car à ce seuil, les écarts de durée d'un essai à l'autre restaient légèrement perceptibles. Ainsi nous avons pensé judicieux d'ajuster ce pas pour augmenter la précision des mesures. Après plusieurs expériences préliminaires, un pas de 1,2 a été retenu. Cela revient à utiliser des pas multiplicatifs de respectivement  $round(1 + 2JND)$ ,  $round(1 + JND)$ ,  $round(1 + JND/1, 2)$  suite à deux réponses « son de comparaison plus court » et de  $round(1 - 2JND)$ ,  $round(1 - JND)$ ,  $round(1 - JND/1, 2)$  suite à deux réponses « son de comparaison plus long ». Le calcul du seuil obtenu correspondant à la durée d'ajustement de la rampe décroissante à durée subjective égale correspondait à la moyenne géométrique des valeurs aux huit dernières inversions.

Le critère de validité d'une mesure était basé sur l'infériorité de l'écart type géométrique des valeurs aux huit dernières inversions par rapport au pas multiplicatif final à l'exposant deux ( $round(1 + JND/1, 2)^2$ ). Pour la validation entre les deux mesures effectuées pour une même condition, nous avons choisi l'infériorité de l'écart type géométrique entre les deux seuils mesurés à ( $round(1 + JND/1, 2)$ ). Le cas échéant une nouvelle mesure était réalisée et prise en compte pour la condition concernée, jusqu'à ce que l'écart-type satisfasse le critère choisi. La durée d'égalité perceptive a été définie comme la moyenne géométrique des quatre seuils obtenus pour chaque durée, impliquant la moyenne des seuils obtenus pour un départ « haut » et pour un départ « bas ».

La consigne soumise aux auditeurs était de désigner la rampe qui leur paraissait être la plus longue parmi les deux rampes présentées, et de prendre soin de bien juger uniquement la durée.

### II.2.2.3 Résultats et discussion

La figure 6 montre les durées des rampes décroissantes obtenues pour les dix auditeurs au cours de cette expérience. La droite d'équation  $y = x$  a été tracée afin de pouvoir situer la durée d'ajustement de la rampe décroissante par rapport à la durée standard de la rampe croissante.

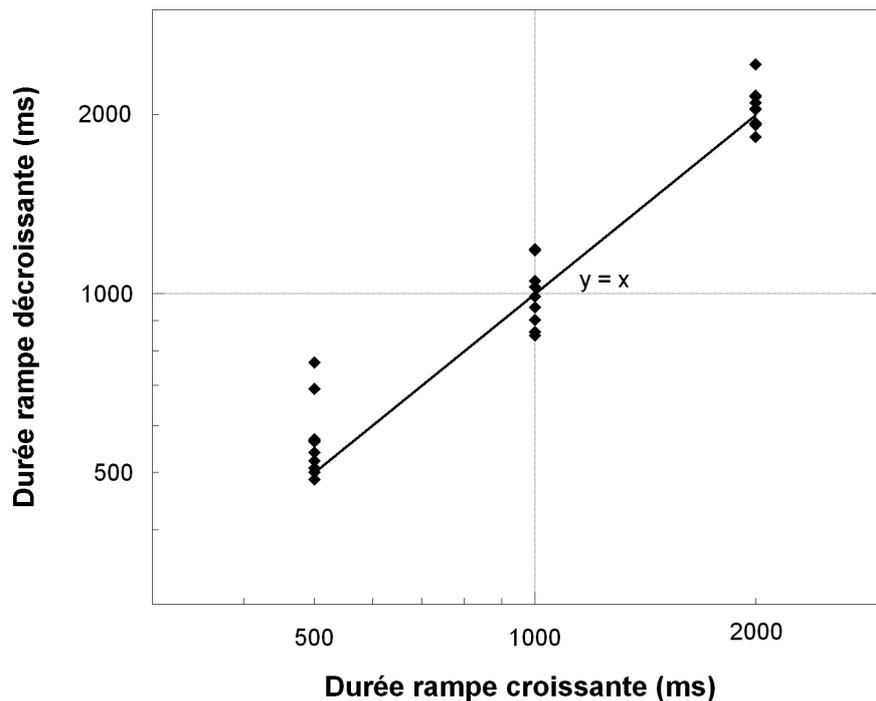


FIG. 6 - Durée d'ajustement des rampes décroissantes (de façon à ce qu'elles aient la même durée subjective que les rampes croissantes) en fonction de la durée des rampes croissantes. Pour une abscisse donnée, chaque losange représente la valeur mesurée pour un auditeur. La droite représente l'égalité entre les abscisses et les ordonnées. Les ajustements sont réalisés pour les trois durées standards 500, 1000 et 2000 ms. Le son test de durée fixe est toujours la rampe croissante. Le son de comparaison de durée variable est toujours la rampe décroissante.

On observe que l'ensemble des durées obtenues pour les rampes décroissantes se rapprochent de la durée de la rampe croissante à 1000 et 2000 ms, bien que les jugements restent partagés de part et d'autre. Cela voudrait dire que les durées perçues des rampes croissantes et décroissantes sont identiques (égalisation à même durée physique). A 500 ms, la tendance est différente. En effet, la plupart des jugements sont répartis au-dessus de la droite d'égale durée physique, ce qui se traduirait par une légère sous-estimation de la durée des rampes décroissantes. La plupart des ajustements pour cette durée est comprise entre 500 et 600 ms, bien que deux sujets fixent un seuil autour de 700 ou 800 ms.

Les résultats obtenus sont à nouveau présentés Figure 7 sous forme du rapport de la durée de la rampe décroissante sur la durée de la rampe croissante à durée subjective égale. Si ce rapport vaut 1, la durée de la rampe décroissante ajustée est égale à la durée de la rampe croissante. Si le rapport est supérieur à 1, la durée d'ajustement de la rampe décroissante est plus longue que la durée de la rampe croissante ce qui traduit une sous-estimation de la durée des rampes décroissantes. Inversement si le rapport est inférieur à 1, cela traduit une surestimation de la durée des rampes décroissantes.

On constate que le rapport est très proche de 1 à 1000 et 2000 ms, valant respectivement 0,99 et 1,02. On note que deux auditeurs s'écartent de la tendance commune avec des ratios de 1,18 et 1,19 à 1000 ms et 1,21 pour le deuxième auditeur à 2000 ms, ce qui représente une différence de durée

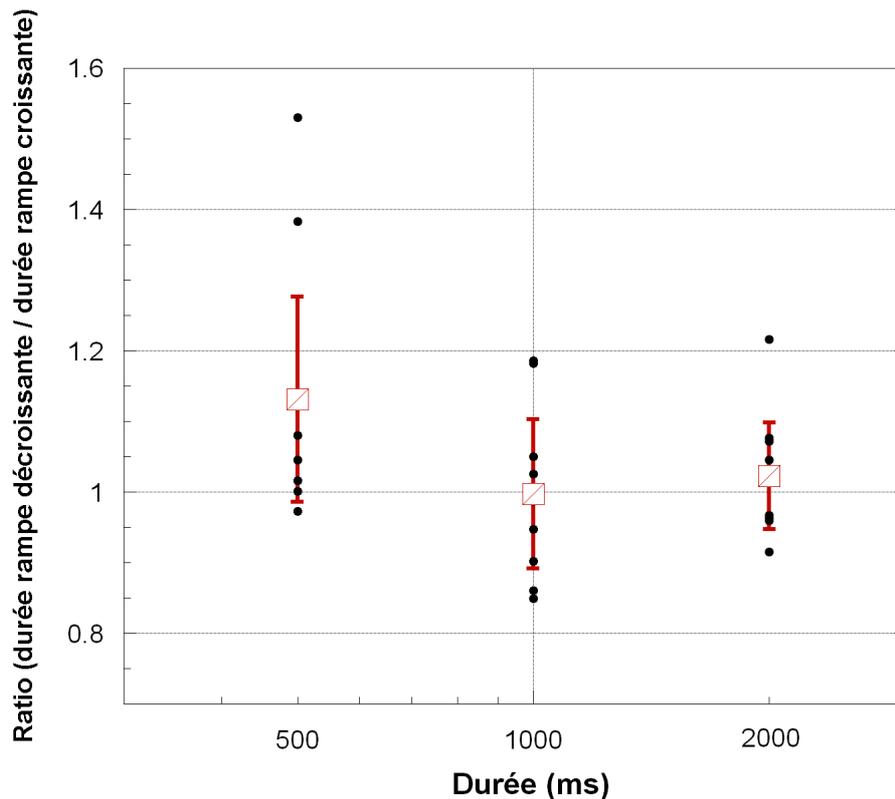


FIG. 7 - Ratio (durée rampe décroissante / durée rampe croissante) à durée subjective égale pour les trois durées standards 500, 1000 et 2000 ms. Les points noirs représentent le ratio pour les différents auditeurs. Les carrés barrés représentent la moyenne géométrique du ratio sur l'ensemble des auditeurs pour chaque durée, et les barres d'erreur représentent les écarts-types géométriques interindividuels.

d'environ 20% de la durée standard. Cependant, d'après l'expérience I-A, ces deux auditeurs ont des seuils de discrimination respectifs de 25,25% et 24,51% de la durée. Les ratios obtenus, certes plus élevés que la moyenne, restent dans un écart à la moyenne inférieur à leur seuil de discrimination en durée.

A 500 ms, la moyenne des ratios sur l'ensemble des auditeurs s'élève à 1,13. Cela représente 13% de la durée et avoisine les seuils de discrimination les plus faibles. L'écart-type est plus grand que pour les autres durées, et les deux auditeurs mentionnés précédemment tirent particulièrement la moyenne vers le haut (ratios de 1,38 et 1,53, représentant des différences de durée entre rampes croissantes et décroissantes d'environ 40% et 50% de la durée, respectivement).

Une analyse statistique ANOVA à mesure répétée sur la durée a révélé un effet très significatif de ce facteur à trois niveaux sur le ratio mesuré [ $F(2,18)=8.61$  ;  $p<0.01$ ] (Annexe A - Figure 3). Il est donc possible de considérer une évolution du ratio avec la durée, en admettant que ce ratio soit supérieur à 1 à 500 ms, et qu'il tende vers 1 à partir de 1000 ms.

Cela se traduirait par une absence d'asymétries perceptives en durée entre rampes croissantes et décroissantes pour des durées de 1000 et 2000 ms, et la présence de légères asymétries à 500 ms (environ 13% de la durée si on considère la moyenne sur l'ensemble des sujets). Ces résultats viennent

contredire notre postulat de départ, qui admettait la présence d'asymétries dans la perception de la durée de tels stimuli.

La littérature propose des résultats pour des durées souvent plus courtes, même si Grassi et Darwin (2006) continuent d'observer des asymétries de l'ordre de 20% de la durée à 1000 ms pour un son complexe via une méthode d'ajustement. Cependant, Grassi et Darwin (2006) constatent également une réduction significative de la différence de durée entre rampe croissante et décroissante avec la durée, ce qui pourrait nous conforter dans nos résultats. De la même manière, Ries *et al.* (2008) mesurent un effet significatif de la durée sur la durée d'ajustement de rampes décroissantes pour un bruit large-bande, et constatent que les asymétries tendent à se réduire à partir d'environ 200 ms. Le ratio calculé par Ries *et al.* (2008), identique à celui que nous utilisons, a pour valeur approximative 1,2 à 500 ms. Cela représente 20% de la durée et reste légèrement supérieur aux 13% que nous mesurons.

Il peut être intéressant de comparer l'allure de nos résultats avec ceux obtenus par Susini *et al.* (2007). Ces résultats ont été obtenus au cours d'une estimation continue de la sonie pour des stimuli croissants puis décroissants (60 dB - 80 dB - 60 dB) possédant un plateau de 3 s à 60 dB au début et à la fin. Une estimation de la durée perçue a été établie entre l'instant où l'estimation de sonie commence à augmenter et l'instant où elle se stabilise à nouveau. Susini *et al.* (2007) ont calculé le ratio entre la durée perçue estimée et la durée physique de la rampe, en fonction de la durée. Une décroissance significative du ratio avec la durée est constatée, le ratio convergeant vers 1 pour une durée de 20 s (à la fois pour les rampes croissantes et pour les rampes décroissantes). Cela signifierait que plus la durée des rampes est grande, plus nous tendrions à juger leur durée à leur réelle durée physique. Cela pourrait éventuellement expliquer une réduction des asymétries en durée perçue (tendance de nos résultats). Cependant, la plage d'observation de Susini *et al.* (2007) s'étend de 2 s à 20 s, ne correspondant pas à l'échelle de durée que nous étudions. Les auteurs ont également constaté qu'il n'y avait pas d'effet significatif du sens de variation, effet pourtant retrouvé dans la plupart des études sur la durée subjective en faveur des rampes croissantes.

Dans la littérature, des asymétries en durée perçue sont relevées entre rampes croissantes et décroissantes, mais nous n'en avons pas constaté dans nos résultats pour les stimuli étudiés. Or, les différences avec la littérature sont principalement les durées des signaux et la méthode de mesure utilisée. La question qui se pose alors est de savoir si la méthode influe sur les résultats ou bien si cette différence est due à la durée des stimuli. Pour pouvoir répondre à cette question, nous avons décidé de continuer à travailler sur la durée et renouveler l'expérience pour des durées plus courtes de 50, 100 et 200 ms (Expérience II). Cela permettrait de se rapprocher de la littérature et de comprendre si les tendances à la réduction des asymétries avec la durée évoquées par Grassi et Darwin (2006) et Ries *et al.* (2008), amenaient réellement ces asymétries à disparaître pour des durées égales ou supérieures à 1000 ms.

## II.3 Expérience II : Mesure de la durée perçue de sons « courts »

L'expérience II constitue la suite de notre étude sur la perception de la durée des rampes croissantes et décroissantes. Elle est la suite de l'expérience I dont les résultats n'ont pas révélé l'existence d'asymétries fondée sur nos hypothèses. Le protocole expérimental est donc strictement identique. Le dispositif expérimental, la procédure et les stimuli utilisés dans les expériences II-A et II-B sont respectivement les mêmes que ceux utilisés dans les expériences I-A et I-B ; à la différence près que les durées étudiées seront désormais de 50, 100 et 200 ms. Nous ne re-détaillerons donc pas ces points là par la suite.

### II.3.1 Expérience II-A : Discrimination en durée

### II.3.2 Stimuli et procédure

Les auditeurs ayant participé à cette expérience sont les 10 mêmes auditeurs ayant déjà participé à l'expérience I. Les stimuli et la procédure utilisés sont strictement identiques à ceux utilisés dans l'expérience I-A, hormis quelques détails. Les durées utilisées dans cette expérience sont de 50, 100 et 200 ms. Le temps d'attaque et de décroissance des stimuli est de 10 ms et non plus 20 ms. Se référer à l'expérience I pour avoir d'avantage de détails sur le reste du protocole.

#### II.3.2.1 Résultats et discussion

La figure 8 présente les seuils de discrimination obtenus pour chaque auditeur pour les durées 50, 100 et 200 ms. Les différentes courbes représentent le rapport de Weber  $\Delta T/T$  en fonction de la durée (en ms).

Le rapport de Weber est compris entre 0,1 et 0,6 pour la plupart des auditeurs, ce qui représente des seuils de discrimination compris entre 10% et 60% de la durée. On remarque que les seuils de discrimination à 50, 100 et 200 ms sont d'une manière générale plus élevés pour les différents sujets que les seuils obtenus à 500, 1000 et 2000 ms, bien qu'il pourrait sembler naturel de penser que le seuil de discrimination en durée augmente avec la durée du signal (les durées longues paraissant plus difficiles à apprécier).

On peut remarquer que le seuil obtenu par l'auditeur S10 pour les rampes décroissantes à 50 ms est anormalement élevé par rapport au seuil obtenu dans les mêmes conditions pour des rampes croissantes ainsi qu'aux seuils obtenus par l'ensemble des auditeurs sur l'ensemble des conditions. Or, nous avons pu constater au cours de l'expérience, qu'un phénomène d'apprentissage semblait se manifester pour atteindre le seuil de discrimination à 50 ms. Un certain nombre d'auditeurs s'est trouvé dans l'obligation de refaire plusieurs mesures avant d'atteindre un seuil stable entrant dans les critères de validité entre deux mesures (cf. II.2.1.4), les seuils ayant tendance à diminuer clairement avec les premières répétitions. Ce phénomène pourrait être une explication de l'écart observé pour le sujet S10, et peut être aurions-nous dû insister sur la répétition d'un plus grand nombre de mesures à 50 ms pour ce sujet.

D'autre part, une tendance commune tend à se dégager, suggérant que le seuil de discrimination décroît légèrement avec la durée, à la fois pour les rampes croissantes et pour les rampes décroissantes.

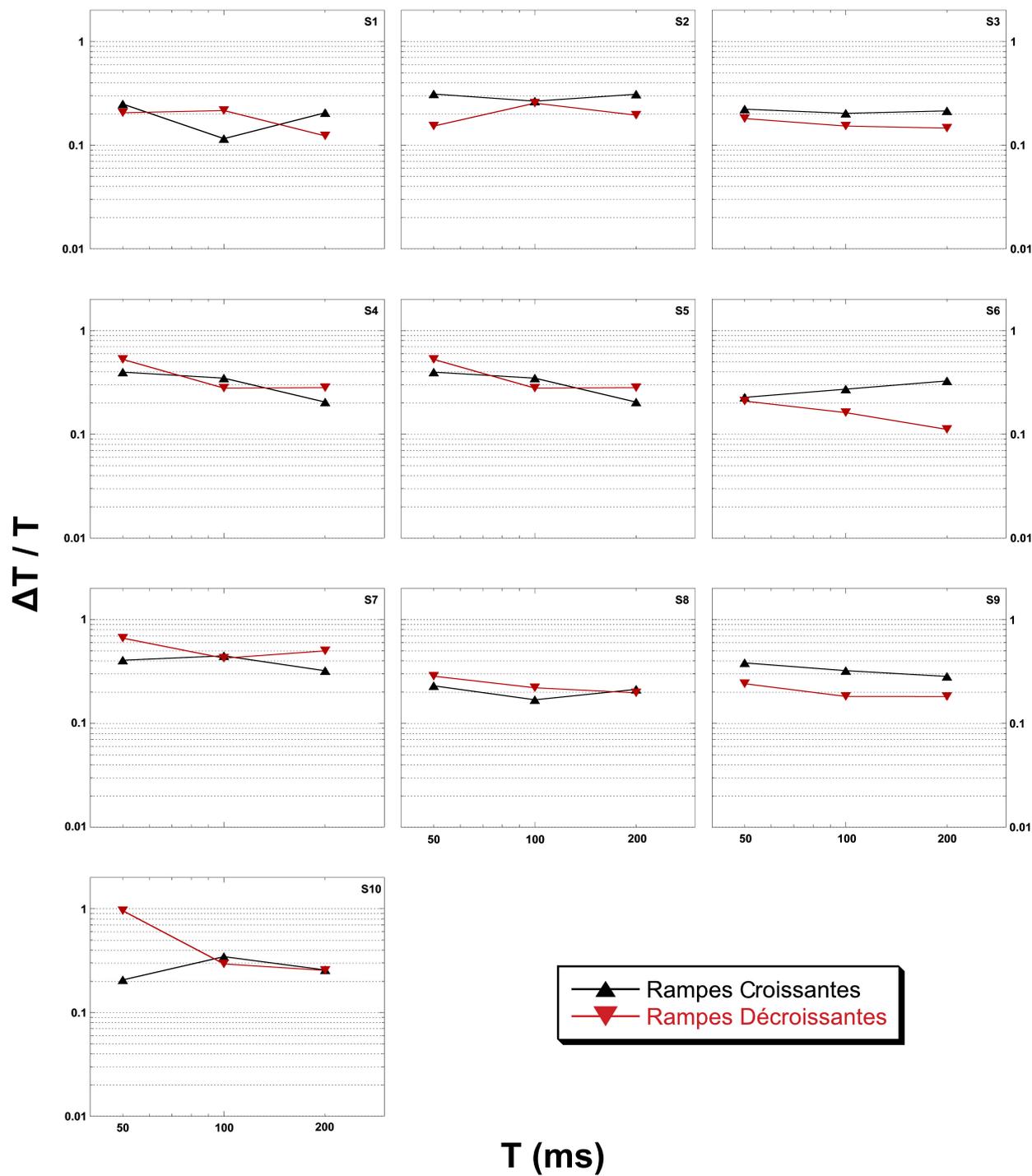


FIG. 8 - Seuil de discrimination en durée pour 10 sujets (S1, S2, ...). Représentation du rapport de Weber ( $\Delta T/T$ ) en fonction de la durée standard  $T$  (50, 100 ou 200 ms).  $\Delta T$  est la différence de durée entre le seuil obtenu et la durée standard.

Une analyse statistique ANOVA a permis de mettre en évidence un effet significatif de la durée sur le rapport de Weber [ $F(2,18)=5.08$  ;  $p<0.0178$ ] (Annexe A - Figure 4). Il n'y a cependant pas d'effet significatif du sens de variation sur le rapport de Weber.

Une analyse factorielle en composante principale (ACP) a été effectuée sur les auditeurs, proposant une extraction sur 3 facteurs associés aux valeurs propres 4,26, 3,20 et 1,37 (Annexe A - Figure 5). Cette analyse met en avant des différences interindividuelles à prendre en compte pour la suite de notre étude.

Les différences interindividuelles ainsi que l'effet de la durée sur le rapport de Weber nous ont poussés à non seulement individualiser le seuil de discrimination pour l'expérience II-B (comme dans l'expérience I-B), mais également à distinguer un seuil de discrimination différent pour chacune des trois durées. Le tableau 9 indique les seuils de discrimination obtenus pour chaque sujet et pour chaque durée, seuils utilisés pour déterminer le pas d'incrément de la méthode adaptative de l'expérience II-B.

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
JND (%)	50 ms	22.59	21.81	20.04	45.73	27.38	21.78	51.98	25.61	30.42	44.46
	100 ms	15.81	25.98	17.62	31.11	18.98	20.99	43.70	19.31	24.26	31.88
	200 ms	15.90	24.52	17.67	23.97	22.02	19.11	40.14	20.49	22.67	25.60

FIG. 9 - Différences juste audibles (JND) moyennes pour chaque sujet et pour chaque durée, exprimées en pourcentage de la durée.

### II.3.3 Expérience II-B : Durée d'égalité subjective entre rampes croissantes et décroissantes

#### II.3.3.1 Stimuli et procédure

Les stimuli et la procédure utilisés étaient strictement identiques à ceux utilisés dans l'expérience I-B, hormis quelques détails. Les durées utilisées dans cette expérience étaient de 50, 100 et 200 ms. Le temps d'attaque et de décroissance des stimuli était de 10 ms. On notera également que le pas d'incrément de la méthode adaptative était de  $\text{round}(2 \times (JND \times T))$  dans l'expérience I-B. Or, étant donné que les JNDs obtenus dans l'expérience II-A sont grands devant ceux obtenus dans l'expérience I-A, le pas d'incrément devenait trop grand pour certains auditeurs pouvant atteindre des valeurs de durée négatives au bout de quelques essais. Nous avons donc réduit ce pas à  $\text{round}(JND \times T)$  dès le départ et imposé une limite inférieure de 10 ms pour la durée de la rampe de comparaison. Se référer au paragraphe II.2.2.2 pour avoir davantage de détails sur le reste du protocole.

#### II.3.3.2 Résultats et discussion

La figure 10 montre les seuils obtenus pour les dix auditeurs au cours de cette expérience. La droite d'équation  $y = x$  a été tracée afin de pouvoir situer la durée d'ajustement de la rampe décroissante par rapport à la durée standard de la rampe croissante.

On constate que toutes les rampes décroissantes ont été ajustées à une durée supérieure à celle de la rampe croissante correspondante, à sensation égale de durée perçue (tous les points sont situés

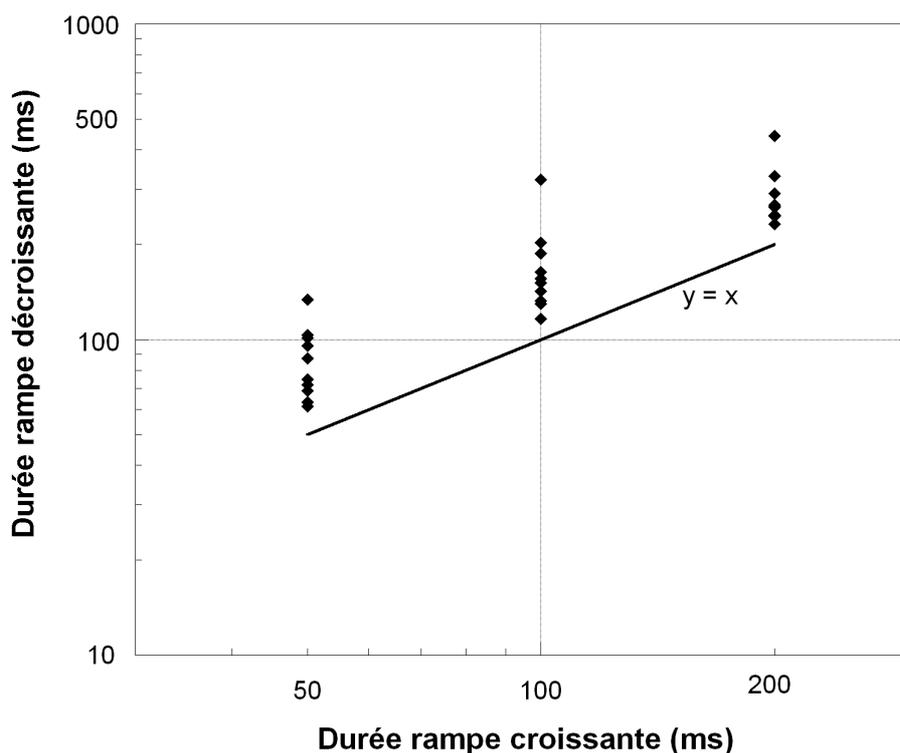


FIG. 10 - Durée d'ajustement des rampes décroissantes à durée subjective égale en fonction de la durée des rampes croissantes, pour chaque auditeur. Les ajustements sont réalisés pour les trois durées standards 50, 100 et 200 ms. Le son test de durée fixe est toujours la rampe croissante. Le son de comparaison de durée variable est toujours la rampe décroissante.

au-dessus de la droite  $y = x$ ). Les jugements sont relativement groupés. Seul un auditeur obtient un seuil plus élevé que la tendance commune pour les trois durées (134, 321 et 412 à 50, 100 et 200 ms respectivement). Cela prouve l'existence d'asymétries entre rampes croissantes et décroissantes plus prononcées que pour les durées plus longues (500, 1000 et 2000 ms).

Nous présentons à nouveaux ces résultats dans la Figure 11 sous forme du rapport entre la durée de la rampe décroissante et la durée de la rampe croissante à durée subjective égale.

La moyenne du ratio établie sur l'ensemble des sujets prend respectivement les valeurs 1,67; 1,63 et 1,39 pour les durées 50, 100 et 200 ms (puis 1,13; 0,99 et 1,02 à 500, 1000 et 2000 ms, valeurs obtenues dans l'expérience I-B). Le ratio ainsi moyenné est donc presque constant à 50 et 100 ms puis tend à diminuer à 200 ms. Il est possible que cela soit en rapport avec une hypothétique réduction des asymétries avec la durée évoquée précédemment. Une analyse statistique ANOVA a été réalisée sur les ratios mesurés après égalisation en considérant la durée de la rampe croissante comme facteur, révélant un effet très significatif de la durée sur le ratio considéré [ $F(2,18)=11.88$ ;  $p<0.01$ ] (Annexe A - Figure 6).

L'auditeur s'éloignant de la tendance commune est ici clairement mis en évidence. Le ratio moyen lui étant associé a pour valeurs 2,68; 3,21 et 2,21 par ordre croissant de la durée.

Les résultats sont en accords avec ceux de Ries *et al.* (2008), DiGiovanni et Schlauch (2007),

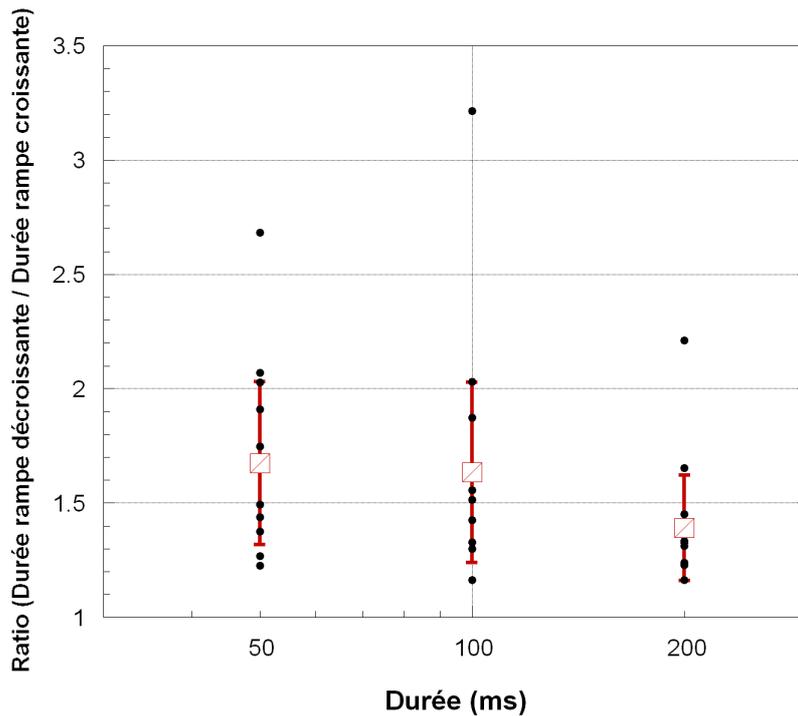


FIG. 11 - Ratio (durée rampe décroissante / durée rampe croissante) à durée subjective égale pour les trois durées standards 50, 100 et 200 ms. Les points noirs représentent le ratio pour les différents auditeurs. Les carrés barrés représentent la moyenne géométrique du ratio sur l'ensemble des auditeurs pour chaque durée, et les barres d'erreur représentent les écarts-types géométriques interindividuels.

Grassi et Darwin (2006) et Schlauch *et al.* (2001) dans le sens où les rampes croissantes sont perçues plus longues que les rampes décroissantes, et où les asymétries tendent à se réduire à partir de 100 ms. Par une simple lecture de courbe, on relève que Ries *et al.* (2008) mesurent des ratios (durée rampe décroissante / durée rampe croissante, la rampe décroissante étant utilisée comme rampe de comparaison) d'environ 2 ; 1,85 et 1,55 pour des durées de 50, 100 et 200 ms, respectivement. Ces ratios obtenus à l'aide d'une méthode d'ajustement sont plus élevés que ceux que l'on mesure. Mais cet écart peut provenir de la différence de procédure utilisée et du fait que Ries *et al.* (2008) présentent la rampe croissante (test) uniquement dans le premier intervalle. D'ailleurs, lorsque la rampe décroissante devient la rampe test, les ratios mesurés sont bien plus faibles.

Les résultats obtenus au cours de cette expérience nous confortent dans le fait que l'absence d'asymétries observée lors de l'expérience I-B n'est a priori pas liée à la méthode utilisée. Nous mesurons en effet, des asymétries en lien avec la littérature en faveur des rampes croissantes. Ces asymétries se réduisent avec la durée, ce qui serait visiblement en accord avec la première expérience.

## II.4 Discussion générale

Les expériences I et II ont permis d'obtenir la durée subjective égale entre rampes décroissantes et rampes croissantes à l'aide d'une procédure adaptative, rendant possible l'observation des

asymétries qui opèrent dans la perception de la durée entre ces deux types de profils temporels. Les durées respectives exploitées au cours de ces deux expériences sont 500, 1000 et 2000 ms puis 50, 100 et 200 ms. La mise en commun de ces résultats va ainsi permettre d'observer l'évolution des asymétries entre 50 ms et 2 s.

La Figure 12 montre l'évolution du rapport (durée rampe décroissante / durée rampe croissante) en fonction de la durée standard de la rampe croissante.

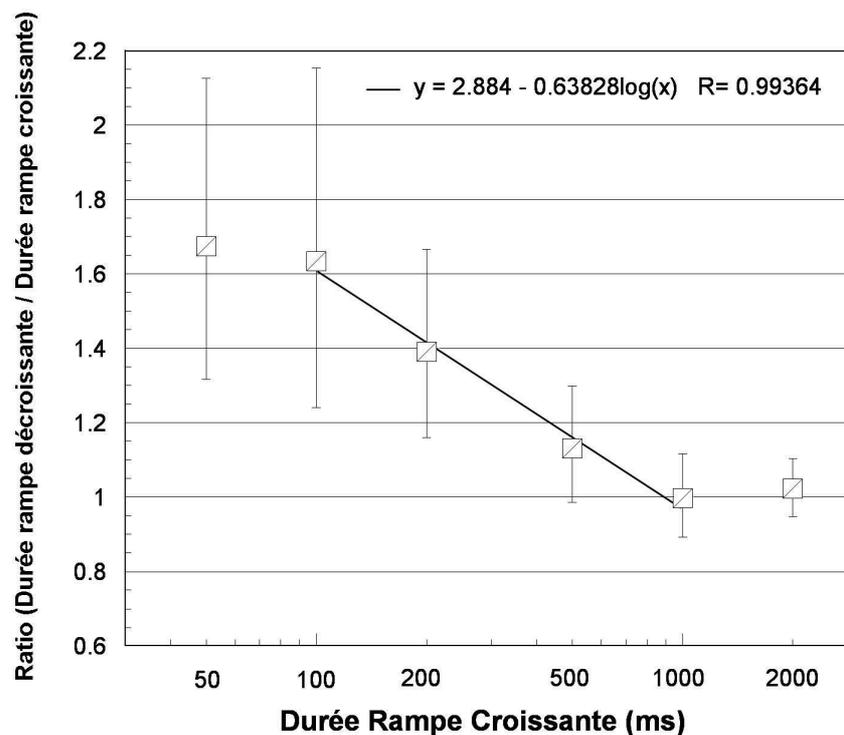


FIG. 12 - Ratio (durée rampe décroissante / durée rampe croissante) à durée subjective égale pour les six durées standards 50, 100, 200, 500, 1000 et 2000 ms. Les carrés barrés représentent la moyenne géométrique du ratio sur l'ensemble des auditeurs pour chaque durée, et les barres d'erreur représentent les écarts-types géométriques interindividuels. La droite représente une régression logarithmique sur les durées de 100 à 1000 ms.

On observe une décroissance du rapport avec la durée, évoluant de 1,67 à 50 ms à 0,99 et 1,02 à 1000 ms et 2000 ms respectivement. Cette décroissance est maximale entre 100 ms et 1000 ms. Au-delà de 1000 ms, le rapport se stabilise autour de 1.

Une analyse statistique ANOVA à mesure répétée a été effectuée en prenant la durée comme variable indépendante (Annexe A - Figure 7). Elle confirme un effet très significatif de la durée sur le rapport considéré [ $F(5,45)=33.14$ ;  $p<0.01$ ]. Cela se traduit par une réduction des asymétries de durée perçue avec la durée, voire une disparition de ces asymétries perceptuelles pour des durées supérieures à la seconde.

Une droite de régression logarithmique a été tracée sur la courbe. La régression a été effectuée uniquement sur les valeurs obtenues entre 100 et 1000 ms. Le coefficient de corrélation associé à la régression effectuée est  $R = 0,994$ , ce qui révèle la réelle tendance à une progression logarithmique

dans la réduction des asymétries avec la durée entre 100 et 1000 ms.

On remarque également que les écarts types à 50 et 100 ms sont grands devant les écarts-types à 1000 et 2000 ms, et que la taille des écarts types diminue avec la durée. Cela pourrait s'expliquer par un seuil de discrimination globalement plus élevé pour les courtes durées. Ainsi, la méthode adaptative utilisée est moins précise pour ces durées-là, ce qui pourrait contribuer à une augmentation des différences interindividuelles dans les mesures de seuils. D'une manière générale, les ressentis de l'ensemble des auditeurs témoignent d'une difficulté croissante à juger la durée en allant vers les courtes durées.

La figure 13 offre un aperçu de la moyenne du seuil de discrimination sur l'ensemble des sujets en fonction de la durée et du type de rampe.

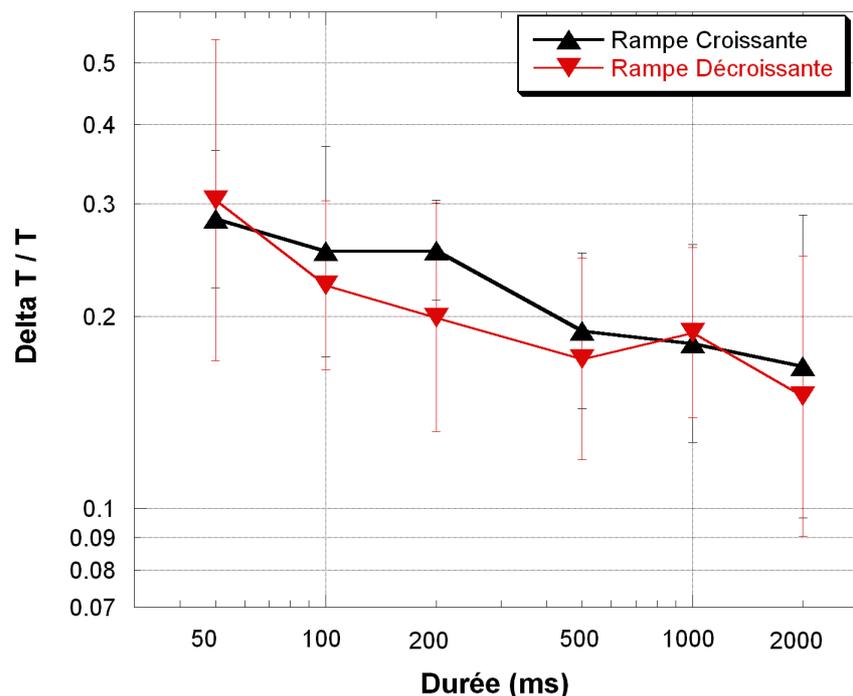


FIG. 13 - Seuil de discrimination moyenné sur l'ensemble des sujets. Représentation du rapport de Weber ( $\Delta T/T$ ) en fonction de la durée (en ms) où  $T$  est la durée standard (50, 100, 200, 500, 1000 ou 2000 ms) et  $\Delta T$  est la différence de durée entre le seuil obtenu et la durée standard. Les barres d'erreurs représentent l'écart-type interindividuel.

Comme nous l'avons vu précédemment, la mesure du seuil de discrimination donne lieu à des différences interindividuelles significatives et donc à de grands écarts types (Figure 13). Cependant, l'observation de seuils moyennés montre une tendance générale de son évolution avec la durée.

Une ANOVA sur les variables indépendantes « sens de variation » (2 niveaux) et « durée » (6 niveaux), révèle un effet très significatif de la durée sur le rapport de Weber  $\Delta T/T$  [ $F(5,45)=7.49$  ;  $p<0.01$ ] (Annexe A - Figure 8). Il n'y a pas d'effet significatif du sens de variation. Le seuil de discrimination décroît donc de manière significative avec la durée. On remarquera qu'en fonction de la durée standard, le seuil différentiel relatif  $\Delta T/T$  n'est pas constant. La durée perçue pour les rampes étudiées ne vérifie donc pas la loi de Weber, selon laquelle  $\Delta\Phi/\Phi = cste$  au seuil de discrimination (où  $\Phi$  est une variable physique et  $\Delta\Phi$  est la variation de  $\Phi$  juste perceptible).

Nos résultats sont en accord avec ceux de DiGiovanni et Schlauch (2007), Grassi et Darwin (2006), Ries *et al.* (2008) et Schlauch *et al.* (2001). Les rampes croissantes sont perçues plus longues que les rampes décroissantes jusqu'à 1000 ms selon nos résultats, durée à partir de laquelle les asymétries tendent à se réduire. Ces différences mesurées entre les deux profils temporels sont reliées à des asymétries perceptives et non à la méthode de mesure puisque ces résultats sont constatés par des procédures d'ajustement (Schlauch *et al.*, 2001; DiGiovanni et Schlauch, 2007; Ries *et al.*, 2008; Grassi et Darwin, 2006), d'estimation de grandeur (Schlauch *et al.*, 2001) et adaptatives (dans notre étude). Seuls Grassi et Darwin (2006) ont étudié des durées supérieures à 500 ms et continuent à observer des asymétries de l'ordre de 20% de la durée à 1000 ms. Les écarts avec nos mesures pourraient provenir de la différence de méthode utilisée, sachant que Grassi et Darwin (2006) mesurent les asymétries de sons croissants et décroissants complexes par l'intermédiaire d'un son stationnaire. Grassi et Darwin (2006) et Ries *et al.* (2008) observent également une réduction des asymétries avec la durée à partir de 250 ms et 200 ms respectivement.

L'objectif des ajustements réalisés était de comprendre si ces asymétries étaient à l'origine des asymétries mesurées pour la sonie. Même si les mesures de sonie n'ont pas encore été réalisées, il est possible de constater que Paindavoine (2010) et Susini *et al.* (2005, 2007) observent des asymétries en sonie entre rampes croissantes et décroissantes pour des durées allant jusqu'à 10 et 20 s, respectivement. Or les asymétries mesurées pour la durée dans notre étude sont fortement réduites à partir de 1 s. Dans ce sens, les asymétries en durée pourraient expliquer en partie les asymétries en sonie pour les courtes durées, mais ne seraient pas à même de justifier les asymétries en sonie pour des durées plus longues.

Enfin on remarquera que les asymétries apparaissent uniquement pour des durées courtes, peut être inférieures au temps d'intégration du système auditif compris entre 100 et 400 ms selon les études (Boullet, 2008; Scharf, 1978). La question se pose alors de savoir si nous jugeons réellement la durée ou bien d'autres paramètres du stimulus comme par exemple la hauteur ou la sonie. Un certain nombre d'auditeurs ont d'ailleurs éprouvé la sensation de fonder leur jugement sur des critères différents de la durée à certains moments. Selon Grassi et Darwin (2006), l'existence d'asymétries est commune à plusieurs attributs de perception comme la sonie, la durée subjective ou le timbre. Ainsi, il pourrait être intéressant de savoir si les asymétries en durée sont réellement sources d'asymétries pour d'autres paramètres comme la sonie ou bien si les asymétries en durée sont la conséquence d'asymétries perceptives liées à un autre attribut.

## Conclusion et perspectives

L'objectif de cette étude était d'étudier les relations entre sonie et durée subjective, et d'estimer l'influence de la durée perçue dans le jugement de la sonie, pour des sons non-stationnaires dont le niveau d'amplitude croît ou décroît linéairement au cours du temps. Un certain nombre d'asymétries ont été mises en avant dans la perception de la durée mais aussi de la sonie entre des sons croissants et des sons décroissants. Le fondement de l'étude était alors d'utiliser ces différences perceptives afin de mettre en avant la co-variance supposée entre les deux paramètres étudiés. Plus précisément, il était question d'ajuster des rampes croissantes et décroissantes à durée subjective égale et de comparer des mesures de sonie avant et après ajustement afin d'observer l'influence de la réduction des asymétries en durée sur les asymétries en sonie.

Une mesure adaptative à choix forcé sur deux intervalles a été mise en place afin d'égaliser des rampes décroissantes de 500, 1000 et 2000 ms à des rampes croissantes afin qu'elles aient la même durée subjective. Nous nous sommes rendu compte qu'une mesure du seuil de discrimination pour chaque type de rampe et chaque durée s'imposait afin de régler au mieux le pas d'incréméntation de la méthode utilisée. De plus, les résultats ont montré que les asymétries étaient quasi-inexistantes à 1000 et 2000 ms et qu'elles restaient relativement faibles à 500 ms.

Ces différentes raisons nous ont amené à revisiter le paradigme expérimental prévu et nous a incité à réorienter nos recherches vers une étude plus approfondie de la durée afin de comprendre si l'absence d'asymétries provenait de la méthode utilisée. Le protocole expérimental appliqué à des durées de 500, 1000 et 2000 ms a ainsi été réitéré pour des durées plus courtes de 50, 100 et 200 ms. Les résultats obtenus ont confirmé l'existence d'asymétries dans l'estimation de la durée entre rampes croissantes et rampes décroissantes pour des courtes durées et ont mis en avant la réduction de ces asymétries avec la durée à partir de 100 ms. L'absence d'asymétries observée pour des durées supérieures à 1000 ms devient ainsi un résultat pertinent.

Il est alors encore envisageable d'essayer d'expliquer les asymétries en sonie par des asymétries dans la perception de la durée pour des durées courtes. Cependant les asymétries en sonie semblent persister pour des durées plus longues jusqu'à 20s (Susini *et al.*, 2005, 2007; Paindavoine, 2010), et l'inexistence d'asymétries pour les durées plus longues remettrait alors en question notre hypothèse.

Les perspectives qu'offrent cette étude sont alors multiples. Dans un premier temps, il est envisagé de réaliser les mesures de sonie stipulées dans le plan d'étude initial afin de compléter le paradigme expérimental prévu et de pouvoir conclure sur notre postulat de départ. Ces expériences sont prévues au mois d'août et feront l'objet d'un rapport oral lors de la soutenance de stage.

D'autre part il serait intéressant de prolonger le travail engagé sur la durée afin de compléter la littérature pour des durées plus longues. Il pourrait ainsi être intéressant de mesurer la durée subjective pour des durées supérieures à 2000 ms, de comparer les résultats à l'aide de plusieurs méthodes de mesures différentes, ou encore de tester plusieurs stimuli différents.

Le projet initial de ce stage avait pour but d'essayer d'expliquer un résultat sur la sonie. Finalement, notre travail s'est orienté vers une étude de la durée perçue à part entière, mettant en avant la nécessité d'y accorder du temps. L'étude de la durée subjective pour ce type de stimuli est encore très restreinte et offre ainsi un grand nombre d'ouvertures.



## Références

- ABEL, S. (1972). Duration discrimination of noise and tone bursts. *J. Acoust. Soc. Am.*, 51(4) : 1219–1223.
- AKERROYD, M. et PATTERSON, R. (1995). Discrimination of wideband noises modulated by a temporally asymmetric function. *J. Acoust. Soc. Am.*, 98 : 2466–2474.
- BOULLET, I. (2008). La sonie des sons impulsionnels : Perception et mesure. *Les cahiers de l'audition*, 21(5).
- CANEVET, G., TEGHTSOONIAN, R. et TEGHTSOONIAN, M. (2003). A comparison of loudness change in signals that continuously rise or fall in amplitude. *Acta Acustica united with Acustica*, 89(2) : 339–345.
- CHALUPPER, J. et FASTL, H. (2002). Dynamic loudness model (dln) for normal and hearing-impaired listeners. *Acta Acustica united with Acustica*, 88(3) : 378–386.
- CORNSWEET, T. (1962). The staircase-method in psychophysics. *The American journal of psychology*, 75(3) : 485–491.
- DIGIOVANNI, J. et SCHLAUCH, R. (2007). Mechanisms responsible for differences in perceived duration for rising-intensity and falling-intensity sounds. *Ecological Psychology*, 19(3) : 239–264.
- EPSTEIN, M. (2007). An introduction to induced loudness reduction. *JASA - EL*, 122(3) : EL74–EL80.
- FASTL, H. (1976). Temporal masking effects : i. broad band noise masker. *Acustica*, 35(5) : 287–302.
- FASTL, H. (1977a). Subjective duration and temporal masking patterns of broadband noise impulses. *J. Acoust. Soc. Am.*, 61 : 162–168.
- FASTL, H. (1977b). Temporal masking effects : ii. critical band noise masker. *Acustica*, 36(5) : 317–330.
- FASTL, H. (1979). Temporal masking effects : iii. pure tone masker. *Acustica*, 43(43) : 282–294.
- FASTL, H. (1984). Folgedrosselung von sinustönen durch breitbandrauschen : Messergebnisse und modellvorstellungen (temporal partial masking of pure tones by broad-band noise). *Acustica*, 54 : 145–153.
- FASTL, H., BUELER, R. et FRUHMANN, M. (2002). Different implementations of a model for subjective duration. *Fortschritte der Akustik*, 28 : 470–471.
- GLASBERG, B. et MOORE, B. (2002). A model of loudness applicable to time-varying sounds. *Journal-Audio Engineering Society*, 50(5) : 331–342.
- GRASSI, M. et DARWIN, C. (2006). The subjective duration of ramped and damped sounds. *Perception & psychophysics*, 68(8) : 1382–1392.

- GUILFORD, J. (1954). *Psychometric methods*. 2nd Ed., McGraw-Hill, New York.
- HELLSTROM, Å. (1979). Time errors and differential sensation weighting. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 5(3) : 460.
- IRINO, T. et PATTERSON, R. (1996). Temporal asymmetry in the auditory system. *J. Acoust. Soc. Am.*, 99 : 2316–2331.
- LEVITT, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J. Acoust. Soc. Am.*, 49(2) : 467–477.
- MILLER, G. (1948). The perception of short bursts of noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 20 : 160–170.
- NEUHOFF, J. (1998). Perceptual bias for rising tones. *Nature*, 395(6698) : 123–124.
- NEUHOFF, J. (2001). An adaptive bias in the perception of looming auditory motion. *Ecological Psychology*, 13(2) : 87–110.
- PAINDAVOINE, P. (2010). Sonie de sons variant au cours du temps, asymétrie entre crescendo et decrescendo. Mémoire de Master, master recherche mécanique physique et ingénierie - Spécialité acoustique ; Université de la Méditerranée, Aix-Marseille II.
- PATTERSON, R. (1994a). The sound of a sinusoid : Spectral models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 96 : 1409–1418.
- PATTERSON, R. (1994b). The sound of a sinusoid : Time-interval models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 96 : 1419–1428.
- PLOMP, R. (1964). Rate of decay of auditory sensation. *J. Acoust. Soc. Am.*, 36 : 277–282.
- PONSOT, E. (2010). On the temporal evolution of the overestimation in loudness of increasing vs. decreasing sounds. Mémoire de Master, Ecole Centrale de Lyon.
- RIES, D., SCHLAUCH, R. et DIGIOVANNI, J. (2008). The role of temporal-masking patterns in the determination of subjective duration and loudness for ramped and damped sounds. *J. Acoust. Soc. Am.*, 124 : 3772.
- SCHARF, B. (1978). *Handbook of Perception*, chapitre « Loudness », pages 187–242. Academic Press, NY.
- SCHLAUCH, R. (1992). A cognitive influence on the loudness of tones that change continuously in level. *J. Acoust. Soc. Am.*, 92 : 758.
- SCHLAUCH, R., RIES, D. et DIGIOVANNI, J. (2001). Duration discrimination and subjective duration for ramped and damped sounds. *J. Acoust. Soc. Am.*, 109(6) : 2880–2887.
- STECKER, G. et HAFTER, E. (2000). An effect of temporal asymmetry on loudness. *J. Acoust. Soc. Am.*, 107(6) : 3358–3368.
- SUSINI, P., MCADAMS, S. et SMITH, B. (2002). Global and continuous loudness estimation of time-varying levels. *Acta Acustica united with Acustica*, 88(4) : 536–548.

- SUSINI, P., MCADAMS, S. et SMITH, B. (2005). Loudness asymmetries for tones with increasing and decreasing levels. *In Proceedings of ICAD 05*, Limerick, Ireland. Eleventh Meeting of the International Conference on Auditory Display.
- SUSINI, P., MCADAMS, S. et SMITH, B. (2007). Loudness asymmetries for tones with increasing and decreasing levels using continuous and global ratings. *Acta Acustica united with Acustica*, 93(4) : 623–631.
- SUSINI, P., MEUNIER, S., TRAPEAU, R. et CHATRON, J. (2010). End level bias on direct loudness ratings of increasing sounds. *JASA - EL*, 128(4) : EL163–EL168.
- TEGHTSOONIAN, R., TEGHTSOONIAN, M. et CANÉVET, G. (2005). Sweep-induced acceleration in loudness change and the « bias for rising intensities ». *Attention, Perception, & Psychophysics*, 67(4) : 699–712.
- TRAPEAU, R. (2009). Etude perceptive d’une évolution temporelle. Mémoire de Master, master IC2A - Spécialité Art, Sciences, technologies ; Université Pierre Mendès-France, Grenoble.
- ZWICKER, E. (1977). Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds. *J. Acoust. Soc. Am.*, 62 : 675–682.
- ZWICKER, E. et FASTL, H. (1999). *Psychoacoustics : facts and models*. 2nd Ed., Springer-Verlag, Berlin.
- ZWISLOCKI, J., PIRODDA, E. et RUBIN, H. (1959). On some poststimulatory effects at the threshold of audibility. *Journal of the Acoustical Society of America*, 31 : 9–14.



# Annexes

## Annexe A

### Analyses statistiques

Cette annexe présente le résultat des différentes analyses statistiques réalisées au cours de cette étude. Chaque figure présentée ci-après est référencée dans le texte.

Les analyses de variance de type ANOVA (Analysis of variance) à mesure répétée ainsi que les analyses factorielles de type ACP (Analyse à Composante Principale) ont été effectuées à partir du logiciel d'analyse statistique *Statistica*.

Concernant l'ANOVA, deux valeurs sont principalement mises en avant : i) la valeur du rapport  $F$  du test de Fisher, fonction des degrés de liberté de l'erreur et de l'effet ii) la probabilité  $p$  que l'hypothèse nulle soit vérifiée. Les critères sur  $p$  sont les suivants : si  $p < 0.05$ , l'effet du facteur observé est considéré comme significatif ; si  $p < 0.01$ , l'effet du facteur observé est considéré comme très significatif.

Les probabilités corrigées par le facteur epsilon de Geisser-Greenhouse ou le facteur epsilon de Huynh-Feldt sont également présentées dans cette annexe. L'analyse, plus conservatrice, permet d'ajuster le test de Fisher dans le cas où les données ne satisfassent pas les conditions de Huynh-Feldt (conditions sur les matrices de covariance).

On notera que les calculs de variances réalisés par l'ANOVA ne sont pas géométriques. Les données fournies pour les analyses correspondaient ainsi au logarithme en base 10 des données brutes.

Synthèse de tous les Effets						
1-DUREE ; 2-SENS						
	dl Effet	MC Effet	dl Erreur	MC Erreur	F	Niveau p
Durée	2	0,019942306	18	0,0143105	1,39354348	0,27372205
Sens	1	0,011306526	9	0,00581268	1,94514716	0,1965739
Durée*Sens	2	0,012208601	18	0,00677778	1,80126715	0,19360217

FIG. 1 - Expérience I-A : ANOVA à mesure répétée sur la durée (500, 1000 et 2000 ms) et le sens de variation (croissant et décroissant)

ACP - Nombre de facteurs extraits : 3				
Sujets = 10 variables				
	Valeurs propres	% Total -Variance	Cumulation Val. Propres	Cumulation Pourcentage
1	4,32487065	43,24870653	4,324870653	43,24870653
2	2,85771615	28,57716150	7,182586802	71,82586802
3	1,83658608	18,36586082	9,019172885	90,19172885

Poids Factoriels, Axe 1 vs. Axe 2 vs. Axe 3

Rotation: sans rot.

Extraction: ACP

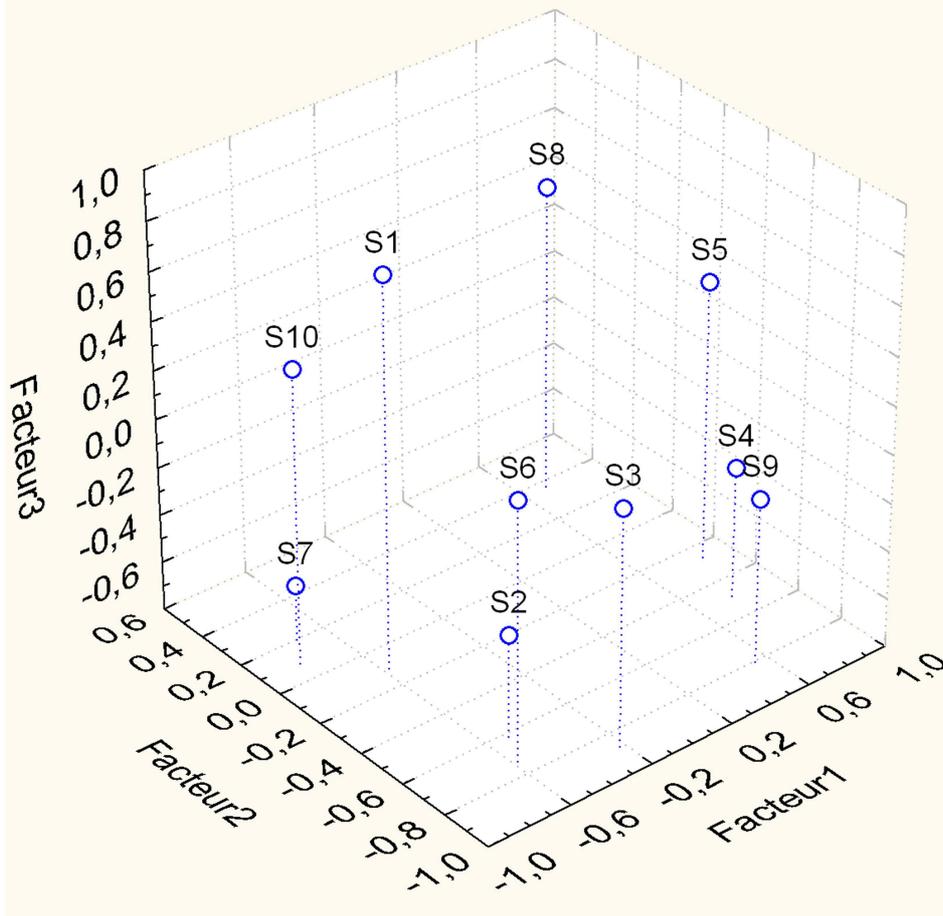


FIG. 2 - Expérience I-A : Analyse à composante principale (ACP) sur les dix auditeurs

Synthèse de tous les Effets						
1-DUREE						
	dl Effet	MC Effet	dl Erreur	MC Erreur	F	Niveau p
Durée	2	0,008346427	18	0,00096889	8,61438084	0,00237343

Effet principal : DUREE			
F = 8.61438	Non ajusté	Geisser-Greenhouse	Huynh-Feldt
Epsilon		0,828786016	0,992568135
dl 1	2	1,657572031	1,985136271
dl 2	18	14,91814804	17,8662262
Niveau p	0,0023734283	0,004589798	0,002442039

FIG. 3 - Expérience I-B : ANOVA à mesure répétée sur la durée (500, 1000 et 2000 ms)

Synthèse de tous les Effets						
1-DUREE ; 2-SENS						
	dl Effet	MC Effet	dl Erreur	MC Erreur	F	Niveau p
Durée	2	0,03896397	18	0,00766816	5,08126831	0,01779945
Sens	1	0,062906228	9	0,02306521	2,72732091	0,13303898
Durée*Sens	2	0,01195283	18	0,00905498	1,32002842	0,29177937

Effet principal : DUREE			
F =5,081268	Non ajusté	Geisser-Greenhouse	Huynh-Feldt
Epsilon		0,661221623	0,730989873
dl 1	2	1,322443247	1,461979747
dl 2	18	11,90198898	13,15781784
Niveau p	0,0177994519	0,03606629	0,031151216

FIG. 4 - Expérience II-A : ANOVA à mesure répétée sur la durée (50, 100 et 200 ms) et le sens de variation (croissant et décroissant)

ACP - Nombre de facteurs extraits : 3				
Sujets = 10 variables				
	Valeurs propres	% Total -Variance	Cumulation Val. Propres	Cumulation Pourcentage
1	4,2629955334	42,6299553341	4,2629955333	42,62995533
2	3,2017962185	32,017962185	7,464791752	74,64791752
3	1,3750556196	13,7505561961	8,839847372	88,39847372

Poids Factoriels, Axe 1 vs. Axe 2 vs. Axe 3

Rotation: sans rot.

Extraction: ACP

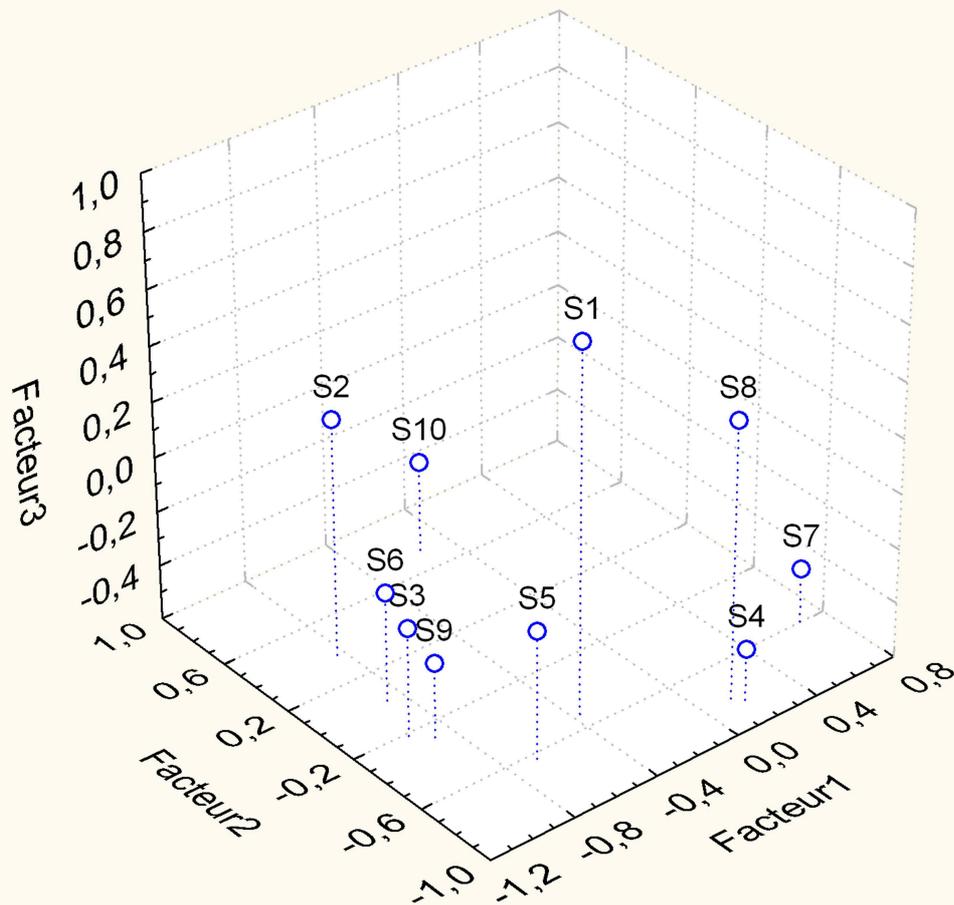


FIG. 5 - Expérience II-A : Analyse à composante principale (ACP) sur les dix auditeurs

Synthèse de tous les Effets						
1-DUREE						
	dl Effet	MC Effet	dl Erreur	MC Erreur	F	Niveau p
Durée	2	0,019131202	18	0,00161059	11,8783951	0,00051394

Effet principal : DUREE			
F = 11,87840	Non ajusté	Geisser-Greenhouse	Huynh-Feldt
Epsilon		0,950989306	1
dl 1	2	1,901978612	2
dl 2	18	17,11780739	18
Niveau p	0,0005139355	0,000664525	0,000513935

FIG. 6 - Expérience II-B : ANOVA à mesure répétée sur la durée (50, 100 et 200 ms)

Synthèse de tous les Effets						
1-DUREE						
	dl Effet	MC Effet	dl Erreur	MC Erreur	F	Niveau p
Durée	5	0,100349478	45	0,00302806	33,1398048	5,078E-014

Effet principal : DUREE			
F = 33,13980	Non ajusté	Geisser-Greenhouse	Huynh-Feldt
Epsilon		0,308523268	0,360077053
dl 1	5	1,542616367	1,800385356
dl 2	45	13,88354778	16,20346832
Niveau p	5,07767E-014	1,23055E-005	2,8545E-006

FIG. 7 - Discussion générale : ANOVA à mesure répétée sur la durée (50, 100, 200, 500, 1000 et 2000 ms)

Synthèse de tous les Effets						
1-DUREE ; 2-SENS						
	dl Effet	MC Effet	dl Erreur	MC Erreur	F	Niveau p
Durée	5	0,136805013	45	0,01826580	7,48968220	0,00003481
Sens	1	0,063775666	9	0,02226990	2,86376095	0,12484757
Durée*Sens	5	0,011751991	45	0,00765471	1,53526366	0,19805421

Effet principal : DUREE			
F = 7,489682	Non ajusté	Geisser-Greenhouse	Huynh-Feldt
Epsilon		0,40199655	0,51787651
dl 1	5	2,00998282	2,58938241
dl 2	45	18,08984566	23,30444145
Niveau p	0,00003481	0,00422783	0,00163662

FIG. 8 - Discussion générale : ANOVA à mesure répétée sur la durée (50, 100, 200, 500, 1000 et 2000 ms) et le sens de variation (croissant et décroissant)