THESE de DOCTORAT de l'UNIVERSITE du MAINE

Spécialité:
ACOUSTIQUE

présentée
par
M. Patrick SUSINI

pour obtenir le grade de
DOCTEUR de l'UNIVERSITE DU MAINE

Sujet de la thèse

PERCEPTION EVOLUTIVE ET GLOBALE DE SONS NON STATIONNAIRES

Version provisoire
Soutenance prévue le 16 décembre 1999
devant la commission d'examen
composée de

A. BARDOT (Examinateur)	Docteur, PSA Peugeot
G. CANEVET (Rapporteur)	Directeur de Recherch
C. DRAKE (Rapporteur)	Chargée de Recherche, L
X. MEYNIAL (Président)	Professeur, Université
S. McADAMS (Directeur)	Directeur de Recherche, Ir
E. PARIZET (Examinateur)	Docteur, Ren

au souvenir

de ma grand mère et de Marinella

Remerciements

A chaque fois qu'il m'arrive de penser un peu aux chemins qui m'ont mené jusqu'ici, je m'aperçois que ce n'est pas par hasard, même si les choses se sont faites non sans détours. Des personnes ont eu un rôle important plus ou moins direct. Cela ne m'a pas toujours paru évident sur l'instant, mais il est sûr maintenant que sans elles je n'en serais pas là. Pour cela je les en remercie.

Avant tout, je souhaite soutenir et soutenir reconnaissance bien plus encore à Florence pour son soutien constant, pour son bon sens et pour m'avoir laissé une grande liberté dans l'accomplissement de ce travail. Je m'excuse auprès d'elle et de nos enfants Marion et Tom pour mes absences, et je les remercie pour toute cette douceur qui fait tant de bien.

Je remercie très sincèrement Steve McAdams qui m'a ouvert les portes du domaine de la psychologie expérimentale. Je le remercie pour m'avoir poussé et soutenu dans cette voie, et pour m'avoir témoigné sa confiance et son enthousiasme constant, tout en conservant un rapport très amical. Merci beaucoup.

Je remercie Anne Bardot de PSA Peugeot Citroën et Etienne Perrier de Renault pour leur ouverture d'esprit, leur intérêt scientifique et leur sympathie possible. Je remercie Jean-Christophe Kraemer et Bénédicte Saint-Loubry pour avoir suivi les différentes étapes de ce travail.

Je suis très reconnaissant à Carolyn Drake et Georges Sakévet pour avoir accepté d'examiner et de critiquer mon manuscrit.

Je remercie Xavier Meynial, président du jury, pour avoir pris le temps de lire mon travail, même si ce n'est pas son domaine.

Je remercie Hugues Vinet, directeur scientifique de l'Ircam, pour son intérêt pour le travail réalisé au sein de l'équipe Perception et

Je remercie René Caussé, Xavier Rodet et Olivier Warusfel et les membres de leur équipe pour leur disponibilité et pour leur aide.

Je tiens à remercier bien sûr tous les membres de l'Ircam et du Laboratoire de Psychologie Expérimentale, particulièrement l'équipe Perception et Cognition Musicales : Sylvie Benoît, Caroline Bey, Sophie Donnadieu, Anne Faure, Cécile Marin, Sophie Savel, Natasa Topalovic, Suzanne Winsberg – en ce qui concerne la partie la plus jalouse de l'Ircam – et Gérard Bertrand, Mike Beauvois, Alain De Cheveigné, Sébastien Dupuis, Pierre Mallard, Daniel Matzkin et Daniel Pressnitzer.

J'exprime toute ma gratitude à Bennett Smith pour son aide indispensable et sa disponibilité, d'une part, et d'autre part, pour les moments, le vécu partagés dans le bureau "jaune" avec nos amis Vincent Roussarie et Olivier Houix.

Je remercie Jean-Paul Coulon pour sa bonne humeur et sa gentillesse

Je remercie Alain Terrier pour ses idées et ses réalisations.

Merci à mes amis Federico Cruz et Nicolas Misdariis pour avoir rendu toutes ces années ircamiennes encore plus chaleureuses.

Je remercie Rhona Hellman et Reinhard Weber pour leurs commentaires constructifs sur mon travail.

Et puis, évidemment, je remercie mon goûtiné puisable pour l'écoute avec sa vielle Thorens, à bandes et satable de montage. Comment aurais-je pu résister à enregistrer les goélands marseillais ?

Je tiens à remercier ma mère pour son amour et son attention sans l

Je remercie mon ami Philippe Penna pour avoir partagé un certain nombre de choses dont l'aventure acoustico-manceille en passant par l'hôtel de la gare du Mans. Je salue à ce point quatre personnes importantes qui ont rebouté au moins plus ou même endroit, à la même époque : Jochen Krimphoff, Mathieu Pavageau, Marc Pachebat et Sylvestre Miget.

Du Mans à Marseille, il n'y a qu'un pas et je remercie François San permis de le franchir, et ainsi de redécouvrir mes oreilles. J'en profite pour remercier de nouveau Georges Canévet pour ses conseils et son accueil dans son équipe en juillet 98 ; merci aussi à Sabine Meunier et à Xavier Régal pour leur collaboration.

Je remercie Valérie Maffi'olo pour m'avoir permis de passer ses séquences sonores à la "moulinette" psychophysique.

Je remercie Christine Carry pour une relecture de dernière minute des plus efficaces.

Enfin, je souhaite évoquer toutes les personnes auxquelles je dois beaucoup autant pour leur enthousiasme que pour leur tendresse : mon ami Pedro, Fanette, Chantal, Fred, Nathalie, Yarek, Xavier, Pierrick, Brigitte, Lynda, Cantin, Ermo, toute la famille du 282, le collectif "Design Sonore" de Belleville, la bande Luminy, Rebecca, Valérie, Noël, Sylvie et tous les pygmées ...

Avant propos

Renault et PSA Peugeot Citroën mènent en commun depuis cinq ans avec l'Ircam des études d'analyse de la qualité acoustique des véhicules dans lesquelles sont établies des liens entre grandeurs acoustiques mesurées et perception auditive (jugements subjectifs). A cet effet, un programme d'actions communes a été défini. La dernière partie consistait à étudier des phases d'accélération de véhicules à partir d'une population d'enregistrements de véhicules. Dans cette étude, il s'agissait d'examiner et de développer des techniques de mesures subjectives de sons non stationnaires. Les travaux ont été effectués dans le cadre d'une thèse de doctorat d'université en Acoustique rattachée à l'Université du Maine (Le Mans) sur une période de trois ans (1996-1999) et financée par le Groupement d'Intérêt Economique (GIE) regroupant les deux constructeurs. Le travail de recherche s'est déroulé à l'équipe Perception et Cognition Musicales à l'Ircam sous la direction de Stephen McAdams. Le sujet de la thèse a été de développer, de mettre au point une technique de jugements subjectifs de sons non stationnaires. Le but final était d'établir une relation entre la perception continue et globale des phases d'accélé

Résumé

Notre environnement sonore comporte de nombreuses sources produisant des sons non stationnaires dont les caractéristiques acoustiques varient dans le temps. Cette thèse étudie l'interprétation, ou la sonie, de sons non stationnaires. La méthode consiste à recueillir en continu les jugements en sonie d'un auditeur au fur et à mesure qu'il perçoit les variations acoustiques d'une séquence sonore. Les contours de jugements continus sont comparés à un jugement global de la sonie traduisant l'impression générale de l'auditeur. A cette fin, un dispositif proprioceptif (levier à retour d'effort) d'évaluation en temps réel et globale de sons non stationnaires a été développé et d'échelles psychophysiques. Ce dispositif permet l'estimation de la sonie par appariement inter-modal rendant ainsi possible la traduction des jugements sonie en décibels, comparables en continu au contour physique principale abordée concerne la caractérisation des processus de perception et de mémoire sous-tendant notre capacité à apprécier globalement le niveau sonore de sons évolutifs. Ainsi, les processus spécifiques de la mémoire auditive dans une tâche de jugement global de la sonie ont été examinés dans un premier temps en comparant les jugements de sonie aux contours en intensité sonore. La méthode a également été appliquée à des séquences sonores correspondant à des ambiances urbaines, ainsi qu'à des sons enregistrés et synthétisés correspondant à des variations de régime moteur de véhicules. L'ensemble de ces travaux nous conduit vers une compréhension des processus sous-tendant les processus de la mémoire à court terme mis en jeu dans l'estimation de la sonie de sons non stationnaires. Il suggère notamment que les algorithmes d'estimation globale de la sonie doivent prendre en compte la configuration temporelle des séquences mesurée ainsi que les processus mnésiques des auditeurs qui pondèrent plus fortement les parties récentes du signal dans un jugement global.

Table des matières

Remerciements 3

Avant propos 6

Résumé 7

Table des matières 8

Introduction 13

L'évaluation psychophysique et la loi de Stevens 17

2.1 Introduction 17

2.2 Les méthodes classiques de mesure des seuils 19
2.2.1 Méthode d'ajustement 19
2.2.2 Méthode des limites 19
2.2.3 Méthode adaptative 20
2.2.4 Méthode des stimuli constants 21

2.3 Les échelles de mesure 21

2.4 Trois groupes d'échelles psychophysiques 23
2.4.1 Les échelles de discrimination 23
2.4.2 Les échelles de catégories 24
2.4.3 Les échelles de rapports 25

2.5 Echelles de rapports des jugements sensoriels 25
2.5.1 Développement des méthodes d'estimation directe 25
2.5.2 Production et estimation de rapports 26
2.5.3 Production et estimation de grandeurs 28

2.6 La loi psychophysique de S. S. Stevens 30
2.6.1 Deux classes de stimuli 30
2.6.2 Fonction de puissance 31

2.7 Appariement de deux modalités sensorielles différentes 33

2.8 Conclusion 36

Mesure de la trace du présent 37

3.1 Introduction 37

3.2 Echelles catégorielle, analogique, combinatoire et sémantique d'évaluation perceptive en continu 39
3.2.1 Méthode de jugement en continu par catégories 39
3.2.2 Méthode de jugement analogique en continu 40
3.2.3 Méthode de jugement combinatoire analogique/catégoriel 41
3.2.4 Méthode de jugement utilisant des descripteurs présélectionnés 42

3.3 Application des méthodes d'évaluation en continu 43
3.3.1 Séquences sonores extraites de l'environnement urbain 43
3.3.1.1 Mesure de l'"instantané" 43
3.3.1.2 Délai de réaction 45
3.3.1.3 De l'"instantané" à l'impression globale 45
3.3.1.4 Corrélats acoustiques 47

3.3.1.5 Différents types de jugements continus 48
3.3.1.6 Utilisation de l'échelle des catégories en fonction du niveau acoustique 51
3.3.1.7 Influence de la composition événementielle 52
3.3.2 Phrases musicales 53

3.4 Conclusion 55

Mémoire - La trace oubliée 58

4.1 Introduction 59

4.2 Deux concepts : le stockage et l'attitude procédurale 60

4.3 Processus de stockage 61
4.3.1 Les modules sensoriels ou mémoires sensorielles 61
4.3.1.1 Mémoire iconique 62
4.3.1.2 Mémoire échoïque 62
4.3.1.3 Le type d'information stockée en mémoire sensorielle 63
4.3.2 Mémoire à court terme et mémoire à long terme 63
4.3.2.1 La capacité limitée 63
4.3.2.2 L'information transférée en mémoire à court terme 64
4.3.2.3 L'oubli à court terme 65
4.3.2.4 Les effets sériels : mémoire à court terme et mémoire à long terme 65
4.3.3 Mémoire à court terme et mémoire de travail 66
4.3.4 Modèle modulaire de la mémoire 66
4.3.5 Autorépétition, subvocalisation et système vocal 67

4.4 Codage en mémoire 67
4.4.1 Code acoustique 68
4.4.2 Code sémantique 68
4.4.3 La supériorité des images sur les mots 69
4.4.4 Le double codage 69

4.5 Organisation 69
4.5.1 Mécanismes de groupement 70
4.5.2 La catégorisation 70
4.5.3 Le modèle de Collins et Quillian (1969) 70

4.6 La mémoire auditive 71
4.6.1 Le masquage en mémoire échoïque 71
4.6.2 L'effet modalité/suffixe en mémoire à court terme. 71
4.6.3 Comparaisons entre des hauteurs identiques ou différentes 73

4.7 Paradigme spécifique à une évaluation globale immédiate 74
4.7.1 Paradigmes de Moray (1959) et de Glucksberg et Cowan (1970) 74
4.7.2 Evaluation globale immédiate et effet de récence 74
4.7.3 Proposition d'un paradigme de test 75

4.8 Conclusion 75

Dispositif proprioceptif et son application à l'évaluation de la sonie 77

5.1 Introduction 78

5.2 Description technique du dispositif proprioceptif 80
5.2.1 Résistance par effet de poids : schéma du dispositif 80
5.2.2 Equation du système 82

5.3 Détermination expérimentale de l'échelle de sonie 82
5.3.1 Sujets 83
5.3.2 Appareillage et production des stimuli 83
5.3.3 Expérience 1 : méthode de production de rapports 84
5.3.3.1 Procédure 84

5.3.3.2 Résultats 84
5.3.4 Expérience 2 : méthode de production de grandeurs 84
5.3.4.1 Procédure 84
5.3.4.2 Résultats 85
5.3.5 Expérience 3 : méthode d'estimation de grandeurs 86
5.3.5.1 Procédure 86
5.3.5.2 Résultats 87
5.3.6 Discussion 87

5.4 Echelle de sensation proprioceptive 88
5.4.1 Expérience 4: méthode de production de rapports 88
5.4.1.1 Procédure 88
5.4.1.2 Résultats 89
5.4.2 Expérience 5 : méthode d'estimation de grandeur 90
5.4.2.1 Procédure 90
5.4.2.2 Résultats 90
5.4.3 Discussion 91

5.5 Expérience 6: Appariement inter-modal 92
5.5.1 Etalonnage individuel du dispositif 92
5.5.2 Stimuli 92
5.5.3 Procédure 92
5.5.4 Résultats 93
5.5.5 Discussion 94

5.6 Discussion générale 94

5.7 Conclusion 96

Appariement proprioceptif en sonie de sons purs variant en intensité 98

6.1 Introduction 98

6.2 Description des dispositifs d'évaluation 100
6.2.1 Dispositif proprioceptif 100
6.2.2 Dispositif combinatoire analogique/catégoriel (A/C) 101

6.3 Etalonnage et fonction psychophysique individuel d'appariement inter-modal 101
6.3.1 Sujets 101
6.3.2 Stimuli 101
6.3.3 Appareillage 101
6.3.4 Procédure 101
6.3.5 Transformation d'échelle individuelle par appariement inter-modal 102

6.4 Expérience 7 : évaluation de la sonie des sons non stationnaires 103
6.4.1 Stimuli 103
6.4.2 Procédure expérimentale 103

6.5 Résultats 106
6.5.1 Jugements continus 106
6.5.2 Jugement global 112
6.5.2.1 Condition 1 112
6.5.2.2 Condition 2 116
6.5.2.3 Condition 3 116
6.5.2.4 Résumé 117

6.6 Discussion générale 118

6.7 Conclusion 124

Evaluation de la sonie de séquences sonores extraites de l'environnement urbain 125

7.1 Introduction 126

7.2 Constitution d'un corpus d'ambiances sonores urbaines 127
7.2.1 Détermination des ambiances sonores urbaines 127
7.2.2 Enregistrement des ambiances sonores urbaines 128
7.2.3 Corpus des séquences sonores 129

7.3 Catégorisation des ambiances sonores urbaines 131

7.4 Méthode par appariement inter-modal 133

7.5 Etalonnage et fonction psychophysique individuel 133
7.5.1 Sujets 133
7.5.2 Stimuli 133
7.5.3 Appareillage 134
7.5.4 Procédure 134
7.5.5 Transformation des échelles individuelles 134

7.6 Expérience 8 : rappel des conditions 135

7.7 Résultats 136
7.7.1 Jugements continus 136
7.7.2 Jugement global 138
7.7.2.1 Comparaison entre les trois conditions 138
7.7.2.2 Jugement global vs jugement continu 139
7.7.2.3 Jugement global vs mesure du L_{eq} en dBA 141

7.8 Discussion 143

7.9 Conclusion 143

Evaluation de l'intensité perçue de sons de véhicules en phase d'accélération 145

8.1 Introduction 145

8.2 Etalonnage individuel de la méthode 147
8.2.1 Méthode et dispositif d'évaluation 147
8.2.2 Fonction d'appariement individuelle 147
8.2.2.1 Sujets 147
8.2.2.2 Stimuli 147
8.2.2.3 Appareillage et procédure 148
8.2.2.4 Transformation d'échelle individuelle 148

8.3 Expérience 9 : évaluation de la sonie des sons de voitures en phase d'accélération 150
8.3.1 Stimuli 150
8.3.2 Procédure expérimentale 151

8.4 Résultats 152
8.4.1 Résultats de la tâche visuelle 152
8.4.2 Validité individuelle : réduction du corpus de sujets 153
8.4.3. Jugements continus 154
8.4.4 Jugement global 159
8.4.4.1 Comparaison entre les trois conditions 159
8.4.4.2 Jugement global vs jugement continu 159

8.5 Conclusion 162

Expérience 10 : contrôle et évaluation des caractéristiques temporelles de sons de véhicules 164

9.1 Introduction 164

9.2 Sujets 166

9.3 Stimuli 166
9.3.1 Description générale des caractéristiques du synthétiseur de sons de voitures 166

9.3.2 Partie harmonique : moteur 168
9.3.3 Partie non harmonique : bruit aérodynamique et bruit de roulement 168
9.3.4 Définition des paramètres et des modes d'entrée 169
9.3.5 Choix des configurations 174
9.3.6 Liste de sons 176

9.4 Appareillage 178

9.5 Procédure 178
9.5.1 Etalonnage et fonction d'appariement individuel 178
9.5.2 Expérience principale 179

9.6 Résultats et discussion 179
9.6.1 Effet de pente de changement du niveau pour des phases d'accélération et de décélération 180
9.6.2 Interactions entre la bosse de bourdonnement et la pente de changement du niveau pour des phases d'accélération et de décélération 181
9.6.3 Interactions entre le profil de variation en fréquence et la largeur de la bosse de bourdonnement pour une phase d'accélération 188
9.6.4 Interactions entre les modulations en amplitude et le niveau en fin d'une phase d'accélération 191

9.7 Conclusion 193

Conclusion 196

Annexe 1 : Analyses de variance du chapitre 6 202

Variables utilisées dans l'analyse 202

Stimuli RAMPE 202

Stimuli 1PIC 203

Stimuli 3PICS 204

Annexe 2 : Analyses de variance du chapitre 9 206

Variables utilisées dans l'analyse 206

Catégorie AC 206

Catégorie AD 207

Catégorie BC 208

Références 209

1 Introduction

"Mesure ce qui est mesurable et
rend mesurable
ce qui ne peut tre mesur "

Galil e (1564°-°1642)

Dans notre environnement quotidien, nous sommes plongés dans un univers sonore composé d'une multitude de sources allant de la tonalité "éthuchotée" du vent au chaos sonore d'une benne à verre déversée. Malgré la complexité du champ sonore, nous parvenons à extraire des informations auditives de caractéristiques a expérience, nous sommes capables d'utiliser ces informations pour identifier l'objet la source d'un son, interpréter le déroulement d'une scène hors champ et effectuer un jugement lié au plaisir provoqué par une sonorité. La principale caractéristique par laquelle nous sommes informés de l'existence d'un objet sonore est l'intensité acoustique. D'autre part, il apparaît qu'elle est largement prédominante dans l'évaluation du confort acoustique, par exemple dans des habitacles de voitures (Susini, McAdams, Winsberg, 1999). L'intensité subjective des sons correspond à un attribut élémentaire de l'audition appelé la sonie. Depuis plus de trente ans, l'étude de la sonie des sons stationnaires[1] a suscité une masse importante de travaux. Différentes procédures expérimentales utilisant les méthodes d'estimation introduites par Stevens et ses collaborateurs (1975), ont permis de caractériser la fonction psychophysique[2] de la sonie des sons purs. Ces méthodes procurent des résultats stables et robustes (Stevens, 1956; Stevens, 1957; Robinson, 1961; Hellman, Zwislocki, 1963). Ainsi, la sonie représentée sur une échelle de rapports exprimée en sones est gouvernée par une loi de puissance en fonction de la pression acoustique. Par ailleurs, si la sonie d'un son pré détermine son intensité acoustique, elle dépend de sa distribution spectrale et de sa durée (Zwicker, Fastl, 1990; Scharf, 1978). Enfin, plusieurs algorithmes de calcul correspondant à des

[1] Nous entendons par son stationnaire, un son dont les propri t s acoustiques sont relativement constantes sur une dur e d termin e de quelques secondes.
[2] Une fonction psychophysique est une relation entre une grandeur physique et la grandeur de la sensation associ e.

modèles élaborés du système auditif périphérique procurent une bonne estimation de la sonie des sons stationnaires (Zwicker, 1985; Moore, Glasberg, 1996).

Ces connaissances correspondent à des présentations peu ou pas de variations en intensité. Or, notre environnement comporte de nombreuses sources dont les caractéristiques acoustiques se transforment au cours du temps. Nous parlerons de sons non stationnaires par opposition aux sons stationnaires. Le terme "non stationnaire" recouvre aussi bien les transformations acoustiques d'un objet (moteur d'une voiture) qu'une séquence sonore (ambiance urbaine) d'une durée de quelques dizaines de secondes. L'objectif du travail de recherche présenté dans cette thèse est d'étudier la sonie de sons non stationnaires et plus particulièrement de sons correspondant à des phases d'accélération de véhicules[3].

Peu d'études sur la sonie ont été consacrées aux sons non stationnaires. Les références disponibles dans la littérature datent dans leur majeure partie des dix dernières années (Kuwano, Namba, 1985; Canévet, Scharf, 1990; Weber, 1991; Fastl, 1991; Namba, Kuwano, 1991; Madsen, 1996; Schubert, 1996). Ceci coïncide avec l'intérêt croissant et progressif pour la qualité acoustique avec le développement de programmes de recherches en cognition musicale. Le but de ces travaux vise à comprendre et à caractériser les processus de perception des variations acoustiques sur des durées assez longues correspondant à l'objet étudié (sons urbains ou phrases musicales, par exemple). La plupart des approches issues de ces travaux consistent à recueillir en continu les impressions d'un auditeur au fur et à mesure qu'il perçoit les variations acoustiques d'une séquence sonore testée. Ces impressions continues sont comparées à un jugement global traduisant l'impression générale de l'auditeur. L'enregistrement des jugements d'un auditeur nécessite donc de développer des méthodes psychophysiques d'évaluation en continu adaptées à des séquences de longues durées.

Par conséquent, nous nous appliquerons à mettre en place un environnement expérimental d'évaluation globale et en temps réel de sons non stationnaires. L'ensemble des connaissances sur les méthodes psychophysiques d'estimation directe sera considéré afin de fournir les éléments de réflexion qui permettront d'orienter le choix de la méthode (Chapitre 2). Parallèlement, une analyse des méthodes d'évaluation en temps réel exploitées dans les travaux précités, nous permettra de cerner les conditions nécessaires auxquelles doit satisfaire la procédure d'évaluation en continu (Chapitre 3). Nous introduirons des notions concernant la mémoire humaine qui nous permettront de poser

[3] Nous rappelons que la recherche développée ici a été réalisée en collaboration avec les constructeurs automobile, Renault et PSA Peugeot Citroën.

une hypothèse sur le type de mémoire mis en jeu dans une tâche d'évaluation globale de sonie de sons non stationnaires (Chapitre 4).

Dans la deuxième partie, un dispositif spécifique à l'évaluation associée sera développé et caractérisé. La méthode ainsi définie sera comparée avec d'autres méthodes dans des expériences d'évaluation de la sonie de sons stationnaires (Chapitre 5) et non stationnaires (Chapitre 6). Les contours en intensité des sons non stationnaires seront prédéfinis. Les processus spécifiques de la mémoire auditive dans une tâche de jugement global de la sonie seront comparés au contour événementiel des sons testés. La question essentielle ici est d'examiner sur quels processus de la perception s'appuie notre capacité à apprécier globalement le niveau sonore de ce type de sons, sachant que pour former une impression globale, notre perception est confrontée au souvenir de nos expériences immédiates. Nous interpréterons ces données en nous appuyant sur les connaissances issues du domaine de la mémoire en audition.

Par la suite, il s'agira de passer de sons simples à des sons complexes. Dans un premier temps, nous appliquerons la méthode à des séquences sonores correspondant à des ambiances urbaines (Chapitre 7). Ensuite, nous étudierons dans le contexte automobile la perception de l'intensité acoustique de signaux enregistrés (Chapitre 8) et de signaux conçus par synthèse (Chapitre 9) correspondant à des variations du régime moteur de véhicules.

L'ensemble de ces travaux nous conduit vers une compréhension des processus de la mémoire mis en jeu dans une procédure d'estimation de sons non stationnaires.

2 L'évaluation psychophysique de Stevens

L'évaluation ou la mesure des caractéristiques physiques et mécaniques d'un objet sont traitées dans les sciences dures comme la physique. Des lois et des échelles ont été ainsi élaborées. Elles permettent de préciser un rapport entre la représentation des phénomènes physiques et les éléments qui ont servi à l'établir. Le domaine de la psychophysique concerne l'évaluation des sensations provoquées chez un individu par les phénomènes physiques avec pour axe essentiel la mesure des sensations. Les principales investigations portent sur les méthodes de mesures sensorielles, le type d'échelle associée aux mesures et sur les fonctions qui traduisent les mesures physiques en mesures sensorielles. Principalement, les travaux réalisés par S.S. Stevens et ses collaborateurs ont révélé que l'ensemble des modalités sensorielles est gouverné par une loi de puissance. Les méthodes et les échelles qui ont conduit à ce résultat seront présentées

2.1 Introduction

La construction expérimentale d'une échelle psychophysique permet d'organiser, selon des propriétés, des valeurs numériques qui traduisent les sensations évoquées ou les changements d'état de conscience d'un sujet, en fonction des stimulations physiques associées, identifiées et mesurables. L'étude des échelles psychophysiques concerne la correspondance que l'on peut démontrer entre une échelle de grandeur physique du stimulus[4] Φ et une hypothétique échelle de sensation Ψ qu'elle

$$\Psi = f(\Phi) \qquad (2.1)$$

[4] Le terme stimulus correspond à l'ensemble des événements physiques qui déclenchent l'activité des récepteurs sensoriels et sont ainsi à l'origine des réponses observées.

La relation ainsi déterminée est une fonction psychophysique. La relation est ensuite interprétée en fonction d'hypothèses pour contribuer à l'élaboration ou à l'approfondissement de nos connaissances sur le fonctionnement des organismes dans leur relation avec l'environnement. Deux grands protagonistes de ce domaine, G.T. Fechner et S.S. Stevens ont, contribué au développement de méthodes spécifiques de mesure sensorielle. Deux types de lois sont les conséquences des échelles élaborées à partir de données issues de leurs travaux. La loi de Fechner, déduite des mesures de discrimination entre deux stimuli, est une loi logarithmique (Fechner, 1860) dont la validité a été reconsidérée depuis les travaux de Stevens (1957). Avec celui-ci, une nouvelle[5] ère de la psychophysique commence, avec l'utilisation de méthodes d'estimation directe par opposition aux procédures indirectes proposées par Fechner. Les données obtenues sont représentées sous la forme de rapports des estimations perceptives. La relation entre un stimulus physique et la sensation ainsi considérée est une loi de puissance. Stevens propose une classification des stimuli en deux catégories (continuum prothétique et continuum métathétique) selon la loi à laquelle ils obéissent. Ces deux types de stimuli auraient des caractéristiques psychophysiques différentes. Cependant, il s'avère que la plupart des modalités sensorielles testées sont en accord avec une fonction de puissance. Pour vérifier la loi de puissance autrement qu'en utilisant des nombres, Stevens a mis au point la méthode de l'appariement inter-modal qui consiste à égaliser l'intensité perçue de deux stimuli. Le chapitre qui suit sera consacré aux notions fondamentales des échelles et des méthodes de mesure issues de la psychophysique "moderne".

L'évaluation d'une sensation nécessite la participation d'un individu. Celui-ci est alors considéré comme un instrument de mesure. Des méthodes classiques de la psychophysique permettent d'obtenir des mesures de seuil, différentiel ou absolu. Ces méthodes seront décrites ci-après (§2.2). Puis ces mesures sont ordonnées selon une échelle dont les propriétés dépendent du type de jugement demandé. Les mesures ou valeurs numériques d'une grandeur peuvent être classées en quatre catégories d'échelles proposées par Stevens (1951, 1975) : échelles nominales, échelles ordinales, échelles d'intervalles et échelles de rapports (§2.3). Les principales méthodes psychophysiques sont regroupées en trois familles, en fonction du type d'échelle qu'elles fournissent. Ces échelles sont : les échelles de discrimination ou de comparaison par paires, les échelles de catégories et échelles de rapports (§2.4). Les méthodes d'estimation directe sont conçues pour engendrer directement des échelles de rapport (définies ci-après) et sont largement utilisées depuis une trentaine d'année pour déterminer la fonction psychophysique d'une

[5] Stevens (1957) parle de "new look" de la psychophysique.

grandeur physique. Dans le paragraphe 2.5, nous développerons uniquement les procédures expérimentales utilisant ces méthodes d'estimation. Les données issues d'un grand nombre de travaux montrent que la relation entre les jugements représentés suivant cette échelle et les grandeurs physiques correspondantes est non linéaire. La loi empirique la plus stable qui formule cette relation est une loi de puissance (§2.6). Cette loi est vérifiée lorsqu'une modalité sensorielle liée à l'évaluation (§2.7). Nous conclurons sur une méthode en particulier.

2.2 Les méthodes classiques de mesure des seui

2.2.1 Méthode d'ajustement

Cette méthode est dite aussi méthode d'autoréglage (Engen, 1974). Par exemple, dans une expérience de discrimination elle est caractérisée par l'intervention du sujet qui doit égaliser lui-même le niveau d'un stimulus variable au niveau d'un stimulus de référence. Dans une expérience de détection, cette méthode consiste pour le sujet à ajuster le stimulus à un niveau qui juste lui permet de détecter. En deçà de cette valeur, il ne détecte pas, au-delà, il détecte parfaitement. Le sujet répète plusieurs fois l'ajustement et la valeur moyenne des valeurs d'ajustement est considérée comme la valeur-seuil. Dans le cas où le sujet doit ajuster l'intensité de deux sons, il utilise le bouton d'un potentiomètre qui lui permet d'augmenter ou de diminuer l'intensité du son variable par rapport au son de référence.

Cette méthode économique en temps et en nombre d'essais mais elle ne permet pas de déterminer la probabilité de réponses correspondant au seuil. En d'autres termes, elle ne permet pas de reconstruire la fonction psychométrique[6].

2.2.2 Méthode des limites

Elle est aussi appelée méthode des différences juste perceptibles (just noticeable differences, JND) (Guilford, 1954). Cette méthode, des variations ascendantes et descendantes des niveaux du stimulus sont présentées autour d'une valeur-cible avec des sauts de valeurs plus ou moins importants selon la finesse du seuil recherché. Chacune des séries, ascendantes et descendantes, est répétée lors de l'expérience et une valeur optimale est de

[6] La fonction psychom trique est la fonction qui permet de relier la probabilit d'une r ponse aux niveaux du stimulus suivant une dimension physique. Par exemple, le pourcentage de fois o un stimulus est per u pour une valeur physique donn e. Cette fonction permet d'estimer statistiquement une valeur-seuil recherch e.

trois pour chacune. Par exemple, dans une expérience de détection, pour une série de niveaux croissants, le sujet passera d'une suite de réponses "non perçu" à une ou des réponses "perçu". Pour des niveaux décroissants, les réponses seront inversées autour de la valeur cherchée. Dans le "tracking" de Békésy, la variation des niveaux du stimulus est inversée automatiquement dès qu'il y a inversion de la réponse du sujet ("perçu" "non perçu", "non perçu" "perçu").

La méthode des limites est souvent utilisée pour déterminer rapidement un seuil correspondant à un seuil. Elle ne permet pas une estimation précise car la présentation ordonnée des niveaux du stimulus peut entraîner des erreurs systématiques soit de maintien, soit d'anticipation de la réponse. Le premier type d'erreur correspond à la situation dans laquelle le sujet répond "perçu" dans une variation descendante et "non perçu" dans une variation ascendante alors que le seuil a été dépassé. L'effet d'anticipation mentionné se traduit par une tendance du sujet à inverser sa réponse par exemple de "oui" à "non" pour une série descendante avant d'atteindre le seuil alors que le sujet sait qu'il va l'atteindre. D'autre part, cette méthode nécessite un grar

2.2.3 Méthode adaptative

Cette méthode est une variation économique de la méthode des limites. Elle permet d'éliminer les biais dus à la présentation ordonnée des niveaux du stimulus. La présentation des niveaux successifs du stimulus est telle que le niveau présenté à un essai donné dépende des réponses aux niveaux utilisés aux essais précédents. Plusieurs variantes sont connues sous le nom de méthode des hauts et des bas (up-and-down) (Dixon & Mood, 1948; Guilford 1954, Cornsweet, 1962). L'une de ces méthodes est la "qui consiste à diminuer le niveau de présentation d'un stimulus après deux réponses justes successives et à augmenter le niveau dès qu'il y a une réponse fausse, dans un test de détection de seuil par exemple. La mesure ainsi déterminée permet d'obtenir le point de la fonction psychométrique associée qui définit également la probabilité d'obtenir deux réponses successives correctes et une réponse fausse. Cet estimateur, par exemple, dans du seuil de réception de la parole utilisant une procédure "3 down - 1 up", le seuil sera défini par 79% de réponses correctes (Canévet, 1987, 1992-1993; Santon & Marchioni, Susini, 1994).

Cette méthode présente quatre avantages principaux : elle ne nécessite pas la connaissance au préalable de la zone du seuil du sujet, un maximum permet d'ol d'information du sujet en un minimum d'essais. En conséquence, elle consiste à présenter plus d'essais dans la zone du seuil que dans des zones éloignées, elle permet une

estimation de la fonction psychométrique pas nécessairement que le sujet reste stable tout au long de l'expérience (Bonnet, p. 47, 1986).

2.2.4 Méthode des stimuli constants

Cette méthode présente les meilleures garanties de validité et de précision pour la mesure des seuils absolus ou différentiels, en particulier parce qu'elle permet des estimations non biaisées des paramètres de la fonction psychométrique (Bonnet, 1986). Pour la mesure d'un seuil différentiel, une valeur du stimulus de référence doit être choisie. Une série de stimuli de valeurs équidistantes est diffusée aléatoirement dans un ordre de référence aléatoire. Le point important est le nombre de valeurs du stimulus variable et l'intervalle entre ces valeurs. L'expérience consiste à présenter le stimulus variable et le stimulus de référence ensemble, soit successivement, soit simultanément. Par exemple, pour mesurer un seuil différentiel d'intensité d'un son, la meilleure solution est de présenter le son de référence et le son variable en succession rapide. Dans erreurs systématiques liées à la perte mnésique entre le premier et le deuxième son diffusé (Guilford, 1954). Pour chaque couple référence et stimulus variable, le sujet donne une réponse positive ("oui, ils sont similaires") ou négative ("non, ils sont différents"). En répétant cette procédure pour différents niveaux de référence, le compte des réponses positives permet de tracer la courbe psychométrique correspondant au pourcentage de "oui" en fonction des valeurs du niveau du stimulus.

2.3 Les échelles de mesure

Lors de la conception d'une expérience, il est nécessaire pour un expérimentateur de connaître le type d'échelle associé aux mesures obtenues. Ce qui permet de déterminer le type d'une échelle psychophysique et donc la signification sous-jacente du résultat, c'est la considération des transformations que cette échelle admet (Stevens, 1951). L'ensemble des valeurs numériques a une signification différente selon le type d'échelle impliquée. Les propriétés essentielles du système des nombres sont utilisées pour les caractériser. Ces propriétés sont l'identité, l'ordre, l'intervalle et l'origine. Stevens (1951, 1975) propose une classification des échelles psychophysiques largement utilisée selon ces quatre propriétés. Quatre types d'échelles sont de même : les échelles nominales, les échelles ordinales, les échelles d'intervalles et les échelles de

- Echelles nominales (identités) : les nombres ou toute autre étiquette n'ont pas de valeur quantitative, ils sont utilisés comme identification. Chaque symbole a une identité

unique et donc différe de tous les autres. Donner un numéro différe à des objets différents consiste à définir une échelle nominale d'objets. Par exemple, les numéros permettent d'identifier les joueurs d'une équipe de football, mais il n'existe aucune propriété entre eux à part la distinction des éléments étiquetés. Des objets identiques devront avoir le même numéro ou la même étiquette. Par exemple, des séquences sonores peuvent être classées selon leur contenu événementiel (train, trafic routier, avion, ...) dans des groupes similaires. Cette échelle correspond au niveau de mesure le plus bas.

- Echelle ordinale (ordre) : elle correspond à une classification selon un ordre qui est fonction d'un paramètre. Elles donnent une indication du type "plus grand" ou "plus petit", sont uniquement une mesure de l'ordre. Cette relation d'ordre implique la transitivité : si A > B et B > C alors A > C. Par exemple, les objets "bus-camionnette-voiture" sont rangés selon un ordre correspondant à leur taille. Mais, à ce niveau de mesure, il n'y a pas d'indication sur l'écart de taille existant entre "bus-camionnette" et "camionnette-voiture".

- Echelle d'intervalles (intervalle) : les nombres définissent des suites de rangs successifs. L'écart entre les nombres ainsi que leur relation d'ordre a une signification du point de vue de la mesure. Par exemple, l'échelle de température en degré Fahrenheit correspond à ce type d'échelle. La différence entre 20°F et 50°F est identique à celle entre 50°F et 80°F. Cependant, 80°F ne correspond pas à une chaleur quatre fois plus grande que 20°F. Les échelles de température (Celsius ou Fahrenheit) n'ont pas de zéro absolu. De manière similaire, entre deux sons, dont les niveaux acoustiques sont respectivement 30 et 60 dB, il y a une différence de 30 dB, mais le deuxième n'apparaît pas avec un niveau acoustique deux fois plus élevé que le premier.

- Echelle de rapport (origine) : cette échelle réunit les propriétés essentielles du système des nombres à savoir l'intervalle, le rapport et l'origine. Les valeurs numériques sont placées selon l'échelle telle qu'elles représentent la valeur absolue d'un paramètre physique ou d'un attribut perceptif. Par exemple, à 90 km/h on roule deux fois plus vite qu'une voiture roulant à 45 km/h. De même, un son ayant une sonie de 8 sones est perçu deux fois plus fort qu'un son ayant une valeur de 2 sones. L'origine d'une échelle de rapport est fixe, une transformation linéaire ne change pas cette origine. Par exemple, il est possible de transformer les unités de longueur entre elles : les pieds en pouces ou en centimètres. Une méthode permettant de représenter les mesures perceptives d'un stimulus sur une échelle de rapport confère

aux données des propriétés identiques à celles du système des nombres, à partir d'une référence arbitraire[7].

Il existe trois grandes classes d'échelles psychophysiques unidimensionnelles qui dépendent des méthodes de mesures sensorielles adoptées dans une procédure expérimentale (Togerson, 1958). Elles sont présentées dans la partie suivante.

2.4 Trois groupes d'échelles psychophysiques

L'emploi d'une méthode de jugement conduit à des réponses sensorielles auxquelles correspond un type d'échelle donné. Ainsi les échelles psychophysiques unidimensionnelles sont groupées en trois principales classes engendrées par la tâche donnée aux sujets. Ces échelles sont les échelles de discrimination, les échelles de catégories et les échelles de rapports. Les valeurs numériques tirées de chacune d'elles traduisent les intensités sensorielles et un ensemble de propriétés spécifiques à chacune d'elle

2.4.1 Les échelles de discrimination

Elles sont le résultat d'une tâche de discrimination ou d'une tâche d'évaluation du type "plus grand" / "plus petit" (Fechner, 1860). Pour Fechner, il existe une échelle de mesure des sensations qui peut être définie à partir des seuils différentiels de discrimination. Une part de l'hypothèse fondamentale que deux différences entre deux couples de stimulus sont subjectivement égales (JND équivalents) si la probabilité de discriminer le stimulus A du stimulus B du premier couple est la même que celle de discriminer le stimulus C du stimulus D du deuxième couple. Fechner déduit de cette hypothèse est que la sensation Ψ est une fonction logarithmique de l'intensité du stimulus

$$\Psi = c \log \Phi \qquad (2.2)$$

De plus, cette loi s'appuie sur la loi de Weber (1831, voir Bonnet, 1986) qui postule que le seuil différentiel $\Delta\Phi$ est proportionnel à la valeur du stimulus de référence Φ :

$$\Delta\Phi = k\Phi \qquad (2.3)$$

La valeur k est une constante spécifique du stimulus.

Cependant, la loi de Weber n'est valide que pour des valeurs moyennes de variation du stimulus. Pour des valeurs basses et élevées, la valeur de la constante k augmente de

[7] Par exemple, pour l'échelle des sones, la valeur de 1 sone, valeur de référence, a été attribuée à un son pur de 1kHz ayant un niveau acoustique de 40 dB SPL.

manière importante (Guilford, 1954; Baird, Noma, 1978). La validité de la loi de Fechner et signifie que les valeurs du JND ne sont pas réel

Φ_i	10	12	14,4	17,28	20,79	24,89	29,86	35,86	43,00	51,60
$\Delta\Phi_i$	2	2,4	2,88	3,51	4,1	4,97	5,97	7,17	8,60	10,32
JND	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tableau 2.1°: nous donnons un exemple fictif de mesures de seuils diff rentiels pour des niveaux successifs du stimulus.

Un autre inconvénient de la loi de Fechner est qu'elle suppose qu'une relation valide pour des différences de la grandeur d'un seuil différentiel est aussi pour des différences infinitésimales. Or ceci est contestable (Luce, Edwards, 1958; Baird, No

Il est cependant possible de construire une échelle de discrimination de manière expérimentale de telle sorte qu'une unité de sensation soit égale à un échelon JND. La réalisation de cette échelle n'est pas économique mais le résultat permettra d'obtenir des valeurs du JND équivalentes d'un point de vue perceptif. Cette échelle sera réalisée en cumulant des échelons de JND estimés au-dessus d'une valeur absolue. Par exemple, soit 10 la valeur du seuil absolu. Cette valeur est considérée comme le point zéro de l'échelle des sensations. Le seuil différentiel à partir de cette valeur est atteint à la valeur 12 du stimulus. A cette valeur correspond la valeur d'un JND au-dessus du point zéro. A partir de la valeur 12, le seuil différentiel a une valeur de 2,4. La valeur 14,4 du stimulus correspond donc à deux valeurs du JND au-dessus du seuil absolu. La procédure est répétée afin d'obtenir une échelle sur la gamme de variation perçue du stimulus physique. Dans le tableau 2.1, nous donnons un exemple fictif de mesures de seuils différentiels pour des niveaux successifs du stimulus tel que :

$$\Phi_{i+1} = \Phi_i + \Delta\Phi_i \qquad (2.4)$$

Un exemple de ce type d'échelle est l'échelle de sonie exprimée en "sone" par Stevens et Hardy, Wolf et Goodell (1947). Le "dol" a été défini équivalent à deux v

2.4.2 Les échelles de catégories

Ces échelles sont basées sur un découpage du continuum du stimulus réalisé directement par les sujets. C'est pourquoi la méthode est qualifiée de méthode directe (Stevens, 1957). L'objectif est comme pour la méthode de discrimination d'échelonner les valeurs du stimulus sur un continuum subjectif qui donne un sens aux distances entre les valeurs numériques. L'échelle ainsi obtenue doit correspondre à une échelle d'int

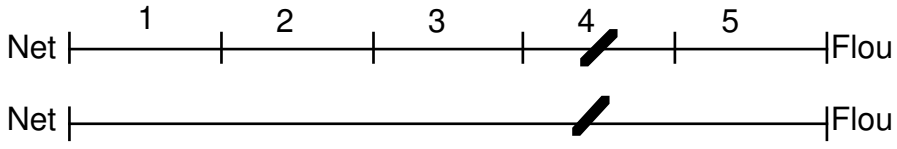

Figure 2.1˚: exemple d' chelle de cotation (d'apr s Bonnet, p. 146, 1986)

On trouve différentes sortes d'échelles catégorielles, l'une d'elles est l'échelle de cotation. Une ligne est, par exemple, subdivisée en cinq intervalles égaux. Les hypothès sont distribuées sur une échelle dont les intervalles sont apparemment égaux entre deux bornes ou étiquettes. Par exemple, dans le cas de l'appréciation de la qualité d'une photo, les étiquettes aux extrêmes de l'échelle peuvent être "net" et "flou" et le sujet doit faire son jugement selon l'une des cinq catégories. Une autre version est la méthode de cotation graphique. Dans ce cas, le sujet doit cocher un point d'une droite représentant le continuum de jugement. La distance mesurée par rapport à l'origine servira de mesu

2.4.3 Les échelles de rapports

Dans les années cinquante, la naissance de la psychophysique "moderne" est caractérisée par l'utilisation des méthodes de mesure directe. Les plus connues sont les méthodes d'estimation et de production de grandeur. Les procédures expérimentales consistent par exemple que le sujet estime directement sa sensation en faisant correspondre une valeur numérique qui lui est proportionnelle. L'ensemble de ces valeurs permet d'établir directement une échelle de rapports des estimations. Ces méthodes sont décrites dans la partie suivante (2.5).

2.5 Echelles de rapports des jugements sensori

2.5.1 Développement des méthodes d'estimation directe

En 1888, Merkel met au point une expérience dans laquelle le sujet doit ajuster un stimulus tel qu'il soit perçu deux fois plus grand que le stimulus de référence (*Methode der doppelten Reize*). Cependant, ses travaux auront alors peu d'influence dans le domaine de la psychophysique. De même Fullerton et Cattel (1892) élaborent une procédure dans laquelle un stimulus est ajusté par rapport à une référence de façon à ce qu'il soit perçu dans un rapport de un demi. Mais c'est seulement depuis Stevens et ses travaux de grand nombre de laboratoires de recherche en physique et en psychologie expérimentale

que les méthodes d'estimation et de production directe sont de nouveau développées. Des efforts importants ont été réalisés jusqu'au milieu des années cinquante dans le but de déterminer l'échelle de sonie (intensité, *loudness* en anglais). Cet intérêt provient de l'inadéquation constatée entre l'échelle logarithmique exprimée en décibels et l'échelle sensorielle des rapports perçus en intensité. En effet, un stimulus de 80 dB ne produit pas une sensation deux fois plus forte que le même stimulus diff de 40 dB comme l'indique la loi de Fechner.

Ces méthodes supposent que le sujet a la capacité de percevoir directement le rapport entre deux grandeurs perçues du stimulus. Stevens (1957, 1969, 1975) a développé ces méthodes à partir du postulat selon lequel à des rapports égaux des intensités des stimulus devaient correspondre des rapports égaux de sensations. Ainsi, la loi existerait entre les données sensorielles et les grandeurs physiques correspondantes serait une fonction de puissance, loi de Stevens. De nombreuses expériences réalisées à partir de ces méthodes ont permis de vérifier cette hypothèse (voir 2.6). La loi de Stevens et la loi de Fechner ne sont pas issues du même postulat et du même type d'échelle. Le même type d'échelle empirique : l'une correspond à une échelle de rapports, l'autre à une échelle d'intervalles. Les méthodes d'estimation directe sont principalement nombre de quatre, avec plus ou moins de variantes. Elles comprennent la production et l'estimation de rapports et de grandeurs.

2.5.2 Production et estimation de rapports

La méthode de production de rapport (ou encore de fractionnement) consiste à ajuster l'intensité d'un stimulus dans des rapports correspondant à des fractions 1/2, 1/3, 1/4, etc., soit à des facteurs entiers 2, 3, 4, etc. de l'intensité perçue d'un stimulus de référence. Pour chaque ajustement, l'expérimentateur réalise une mesure physique de l'intensité. Une valeur numérique est associée à un stimulus de référence et, ainsi, se construit l'échelle des rapports perceptifs du stimulus testé. Généralement, les fonctions obtenues par les deux procédés diffèrent : l'exposant des fonctions de puissance est souvent plus élevé pour des jugements exprimés en termes de sous-multiples que pour des jugements en termes de multiples (Baird, Noma, 1978). Il est indiqué d'utiliser les deux procédures afin de contrebalancer les biais. Elles sont à chacune ajuste lui-même le stimulus variable jusqu'au rapport souhaité avec le stimulus de référence. Dans l'utilisation de la procédure des limites, le stimulus varie progressivement jusqu'à ce que le sujet indique que la sensation produite est à peine plus grande que celle qui correspond au rapport désiré avec le stimulus de référence. Dans une variante,

l'expérimentateur fixe différents rapports de stimulation qu'il soumet pr
ci doit déterminer s'il perçoit un rapport plus que celui qui est indiqué
par une valeur numérique (procédure des stimuli constants). Dans une expérience réalisée
par Engen et Tulunay (p. 208, 1957), il est demandé aux sujets d'estimer des poids
présentés par paires selon une procédure des stimuli constants. La consigne donnée aux
sujets est la suivante: "The purpose of this experiment is simply to find out how different
two weights must be for one of them to feel half as heavy as the other. We are not
concerned with physical differences between weights, but only with what feels half as
heavy to you. You will lift a series of pairs of weights by lifting t
the first three fingers of your preferred hand - like always. The first
same. The second will vary in weight from one time to another. Your task is to decide
whether the second weight feels more than half as heavy as the first, half as heavy as the
first weight. Respond by saying 'more than half' if you may 'less than half' or
twice".

Dans une expérience qui consiste à déterminer l'échelle de rapport en
1000 Hz, le type de stimulus présenté correspond à celui de la figure 2.2 lorsque la
procédure employée utilise la méthode de production. Le premier son est le son
de référence, le deuxième est celui qu'il faut ajuster par rapport au premier tel qu'il y ait
un rapport subjectif en intensité entre eux correspondant à celui indiqué
par l'expérimentateur. La consigne donnée aux sujets est: "Vous allez entendre
deux sons successifs de même intensité. Les deux sons sont séparés par un silence de 1
seconde. Le premier est le son de référence et le deuxième est le son variable. Votre tâche
consiste à ajuster le niveau acoustique du deuxième son à l'aide du curseur tel que vous
jugiez son intensité dans un rapport donné comparé à l'intensité du premier. Les deux
sons, son de référence et son variable, sont répétés successivement jusqu'à ce que vous
que vous validiez votre estimation. L'expérience sera répétée pour différentes valeurs de
référence".

Des variations plus importantes dans les données sont apparues avec la méthode de
production de rapport par rapport à d'autres méthodes. Ces variations proviennent d'une part
du contexte lié à la gamme de variation des stimuli et d'autre part à l'entraînement des
sujets et plus particulièrement dans la procédure des stimuli constants (Garner, 1952;
Stevens, Poulton, 1956 ; Engen, Tulunay, 1957).

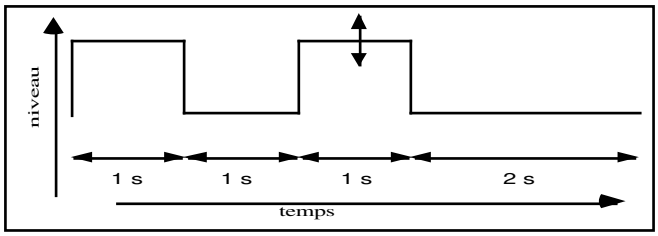

Figure 2.2˚: Exemple d'un stimulus acoustique pr sent dans une exp rience utilisant la m thode de production de rapport. Le premier son est le son de r f rence amplitude fixe. Le deuxi me son, pr sent une seconde plus tard, est le son dont il faut ajuster le niveau dans un rapport donn avec le son de r f rence.

La méthode d'estimation de rapports est assez similaire à celle de production de rapports mais selon une procédure inverse. Le sujet doit estimer numériquement le rapport perçu entre deux stimuli. Il est intéressant d'utiliser ces deux méthodes de fa

2.5.3 Production et estimation de grandeurs

La méthode d'estimation de grandeurs consiste à donner une estimation numérique directe de la sensation provoquée par différents stimuli (Stevens, 1955). Les principaux paradigmes de la méthode sont les suivants. Un stimulus de référence auquel est associée une valeur numérique, par exemple 10, est présenté au sujet. Puis, le sujet associe une valeur numérique à chacun des stimuli en fonction du rapport perçu avec la grandeur de référence. Si la sensation provoquée par un stimulus est trois fois plus importante que celle qui correspond au stimulus de référence, il lui attribuera la valeur numérique 30. Dans une autre version, la valeur de référence n'est pas fixée. Le sujet fixe lui-même la valeur correspondant au stimulus de référence. Ou encore, aucun stimulus de référence n'est présenté. Le sujet doit attribuer une valeur numérique absolue proportionnelle à la sensation provoquée par un stimulus. Généralement, les sujets fixent eux-mêmes, de manière implicite, la référence correspondant au premier stimulus de la série présentée. En fonction du paradigme adopté, les résultats divergent d'une expérience à l'autre. Afin de minimiser un certain nombre de biais, il est nécessaire de respecter les indications sui

contre-indicatif déduit de manière empirique au cours des différentes expériences relatées dans la littérature[8].

A titre d'exemple, une procédure utilisant la méthode d'estimation de grandeurs dans une expérience d'estimation de la sonie peut être la suivante : les sons sont diffusés par paires (voir figure 2.3) ; le premier est le son de référence auquel est attribué une valeur numérique de 10, le deuxième est diffusé avec un niveau de pression acoustique en dB du deuxième son peuvent être par exemple 30, 35, 40, 45, 55, 65, 70, 80, 85 et 90. La présentation sera aléatoire d'un sujet à l'autre. Le sujet doit attribuer une valeur numérique "x" au deuxième son qui soit proportionnelle à son intensité. Le sujet entre par l'intermédiaire du clavier la valeur numérique qui lui semble proportionnelle à l'intensité du son.

La méthode de production d'amplitudes est l'inverse de la méthode d'estimation. L'expérimentateur fixe une valeur numérique et le sujet doit ajuster le stimulus tel que la sensation qu'il provoque correspond à la valeur fixée. La fonction psychophysique d'amplitudes est obtenue en traçant les valeurs de sensations prescrites en fonction de la moyenne des valeurs physiques des stimuli ajustés par les sujets.

---

[8] Dans son article "The direct estimation of sensory magnitudes-loudness" (1956, p. 5), S.S. Stevens énumère en neuf points les choses à ne pas faire : "First let me say that the success of the foregoing experiment was achieved only after much trial and error in the course of which we learned a lot of the things *not* to do. On the positive side, in experiments involving fixed s that should be done appear to be these:
1. Use a standard whose level does not impress the Observer as being either extremely soft or extremely loud, *i.e.* use a confortable standard - one that Observer can 'take hold of.'
2. Present variable stimuli that are both above and below the standard.
3. Call the standard by a number, like 10, that is easily multiplied and devided.
4. Assign a number to the standard *only*, and leave the Observer completely free to decide what he will call the variables. For example, do not tell Observer that the following that variable i loudest is to be called some other number. If Experimenter assigns numbers to mor introduces constraints of the sort that force Observer to make judgements on an i ratio scale.
5. Use only one level of the standard in any one session, but use various standards, for it is risky to decide the form of a magnitude function on the basis of data obtained with only c
6. Randomize the order of presentation. With inexperienced Observers it is well, however, to start with loudness ratios that are not too extreme and are, therefore, easier to judge.
7. Make the experimental sessions short-about 10 min.
8. Let Observer present the stimuli to himself. He can then work at his own pace, attending properly when the stimulus comes on.
9. Since some estimates may depart widely from those of the 'average' Observer, it is advisable to use a group of Observers that is large enough to produce a stable median."

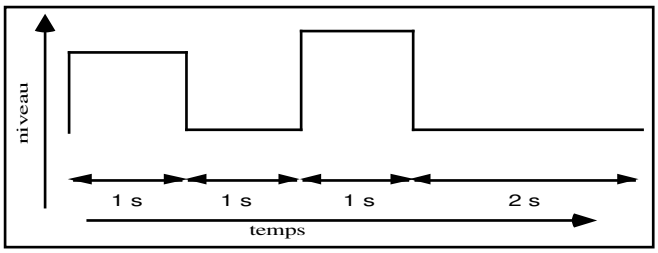

Figure 2.3˚: Exemple d'un stimulus pr sent dans une exp rience utilisant la m thode d'estimation de grandeur. Le premier son est le son de r f rence amplitude fixe. Le deuxi me son est pr sent une seconde plus tard un niveau acoustique diff rent de celui du premier.

Remarque : les méthodes de production et d'estimation de grandeurs peuvent amener chacune un biais expérimental de même grandeur et de signe opposé. Il est nécessaire d'appliquer les deux méthodes, et d'extraire une moyenne des données. Cette procédure correspond à une méthode d'équilibrage des amplitudes numérique décrite par Hellman et Zwislocki (1963).

2.6 La loi psychophysique de S. S. Stevens

2.6.1 Deux classes de stimuli

Stevens (1957) propose une distinction entre deux classes d'attributs sensoriels en termes de sensation quantitative (amplitude, taille) - classe I - et de sensation qualitative II. Les attributs de chacune des classes sont nommés respectivement "continuum prothétique" et "continuum métathétique". Ils sont des caractéristiques psychophysiques différentes. Les uns - classe I - sont gouvernés par une loi de puissance, fonction du stimulus physique, les autres non. C'est le cas typique de la mesure de l'intensité ou de la hauteur d'un son dont les processus physiologiques associés traduisent respectivement un "continuum prothétique" et un "continuum métathétique". Sur le plan physiologique, la différence entre les deux types de sensation est liée aux types d'activité neuronale par addition et par substitution. Dans le cas d'un "continuum prothétique", une augmentation de l'intensité d'un stimulus provoque une excitation d'un nombre de neurones plus grand alors que dans le cas d'un "continuum métathétique", le stimulus se déplace sur un autre groupe de neurones.

2.6.2 Fonction de puissance

Une douzaine d'expériences réalisées à partir des méthodes d'évaluation directe sur des stimuli du type "continuum prothétique" donnent naissance à une nouve

Stevens propose (1957) une relation obéissant à la loi de puissance entre une intensité subjective et une intensité physique :

$$\Psi = k\Phi^{a} \qquad (2.5)$$

où Ψ correspond à l'intensité subjective, Φ correspond à l'intensité physique, k, est une constante arbitraire ajustement de l'échelle et a l'exposant qui dépend de la modalité sensorielle mesurée.

Des expériences effectuées par Stevens dans différents domaines ont pour résultats des fonctions de puissance dont les exposants varient entre 0,33 ("brillance") et 3,5 ("choc électrique"). La loi de puissance semble s'appliquer à un grand nombre de continuums physiques impliquant une variation de l'intensité sensorielle. Un ensemble de données obtenues de différents laboratoires est résumé dans le tableau 2.2.

La construction d'une échelle directe revient à déterminer expérimentalement l'exposant de la fonction de puissance. Cette valeur est obtenue directement en représentant les données dans un espace en coordonnées log-log. La fonction de puissance est alors représentée par une droite exprimée par l'équation suivante :

$$\log_{10}\Psi = a\log_{10}\Phi + \log_{10}k \qquad (2.6)$$

avec a correspondant à la pente de la droite et $\log_{10}(k)$ à l'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées (y).

Attribut	*Exposant*	*Condition du stimulus*
Sonie	0,7	Pression acoustique d'un son pur de 3000 Hz
Vibration	1,0	Amplitude de 60 Hz sous le doigt
Vibration	0,6	Amplitude de 250 Hz sur le doigt
Brillance	0,3	Cible de 5¡ dans le noir
Brillance	0,5	Source en point
Brillance	0,5	Bref clignotement
Brillance	1,0	Source en point avec bref clignotement
L g ret	1,2	Reflet sur papier fonc
Longueur visuelle	1,0	Ligne projet e
Aire visuelle	0,7	Carr projet
Rougeur (satur.)	1,7	Mixture rouge fonc
Go t	1,3	Sucrose
Go t	1,4	Sel
Go t	0,8	Saccharine
Odeur	0,6	Heptane
Froid	1,0	Contact m tallique sur le bras
Chaleur	1,6	Contact m tallique sur le bras
Chaleur	1,3	Rayonnement sur la peau, petite surface
Chaleur	0,7	Rayonnement sur la peau, grande surface
Inconfortable, froid	1,7	Rayonnement sur la totalit du corps
Inconfortable, chaud	0,7	Rayonnement sur la totalit du corps
Douleur thermique	1,0	Chaleur radiante sur la peau
Rugosit tactile	1,5	Frottement de toiles meri
Duret tactile	0,8	Serrer du caoutchouc
Ecart des doigts	1,3	Epaisseur de blocs
Pression sur la paume	1,1	Force statique sur la peau
Force musculaire	1,7	Contractions statiques
Lourdeur	1,4	Poids soulev s
Viscosit	0,4	Remuer un liquide en silicone
Choc lectrique	3,5	Courant travers les doigts
Effort vocal	1,1	Pression du son de la voix
Acc l ration angulaire	1,4	Rotation de 5-sec
Dur e	1,1	Stimuli "bruit blanc"

Tableau 2.2˚: Pr sentation des exposants de la fonction de puissance obtenue pour diff rentes modalit s sensorielles (d'apr s Stevens, p. 15, 1975).

2.7 Appariement de deux modalités sensorielles

Le problème des méthodes d'estimation ou de production réside dans l'habilité du sujet à détecter et à transmettre les bons rapports correspondants des sensations. Les données de la littérature révèlent une variabilité des résultats dans les jugements des sujets selon le type de méthode, le niveau ou la valeur du stimulus de référence, la référence, la gamme des stimuli présentés, etc. (Stevens, Tulving, 1957 ; Stevens, 1958 ; Stevens, Guirao, 1964 ; Stevens, Poulton, 1956 ; Hellman, Zwislocki, 1968). Aussi, une nouvelle méthode d'estimation directe est proposée. Dans la procédure correspondante, le sujet n'utilise pas de valeurs numériques associées aux sensations. La tâche consiste à égaliser perceptivement deux sensations provenant de deux modalités sensorielles différentes (Stevens, Mack, 1959 ; Stevens, 1959 ; Stevens, Mack, Stevens, 1960). La procédure correspond à une procédure d'appariement inter-modale. Le but est de déterminer une fonction d'égale sensation qui indique les valeurs sensorielles d'une modalité en fonction des valeurs d'une autre modalité. Selon l'hypothèse que chacune d'elles appartient à la classe "continuum prothétique", les fonctions de puissance respectives des modalités 1 et 2 peuvent s'écrire de la manière suivante en échelle log-log :

$$\log_{10} \Psi_1 = a_1 \log_{10} \Phi_1 + \log_{10} k_1 \qquad (2.7)$$

$$\log_{10} \Psi_2 = a_2 \log_{10} \Phi_2 + \log_{10} k_2 \qquad (2.8)$$

Apparier les deux modalités sensorielles revient à la relation suivante

$$\Psi_1 = \Psi_2 \leftrightarrow \log \Phi_2 = \left[\frac{a_1}{a_2}\right] \log_{10} \Phi_1 + \left[\frac{\log_{10} k_1 - \log_{10} k_2}{a_2}\right] \qquad (2.9)$$

Ainsi les données physiques des deux modalités sensorielles en unités logarithmiques sont liées par une relation linéaire dont la pente dépend du rapport des exposants qui caractérisent chacune d'elles.

Dans une série d'expériences réalisées par Stevens et Mack (1960), il est demandé aux sujets d'ajuster l'intensité d'une force musculaire en utilisant un dispositif exercé sur la poignée reliée à un dynamomètre (figure 2.4) telle qu'elle soit perçue équivalente à l'intensité d'une autre modalité sensorielle (Stevens, Mack, Stevens, 1960). Auparavant, la tension musculaire perçue a été mesurée par les méthodes d'estimation et de production d'amplitudes ; les sujets rendent compte des sensations produites par des pressions de différentes forces. La fonction psychophysique de la force musculaire appliquée sur le dynamomètre ainsi obtenue correspond à une fonction de puissance

d'exposant 1,7. L'évolution de sept modalités sensorielles (décharge électrique, lumière blanche, bruit blanc, son pur de 1 kHz, vibration sur le bout du doigt, pression sur la paume, poids soulevé) est mesurée par l'intermédiaire de la sensation musculaire (figure 2.5). La fonction de sensation équivalente entre une modalité sensorielle et la sensation musculaire a la forme suivante :

$$F = I^{\alpha/1,7} \qquad (2.10)$$

où F est la force et I est l'intensité sur le continuum du stimulus apparié. L'exposant α correspond à la fonction de puissance du stimulus apparié, et le rapport α/1,7 est la droite qui exprime la relation en coordonnées logarithmiques pour chacun des stimuli. Les fonctions psychophysiques ainsi déterminées sont équivalentes à celles observées par les méthodes directes classiques (tableau 2.3).

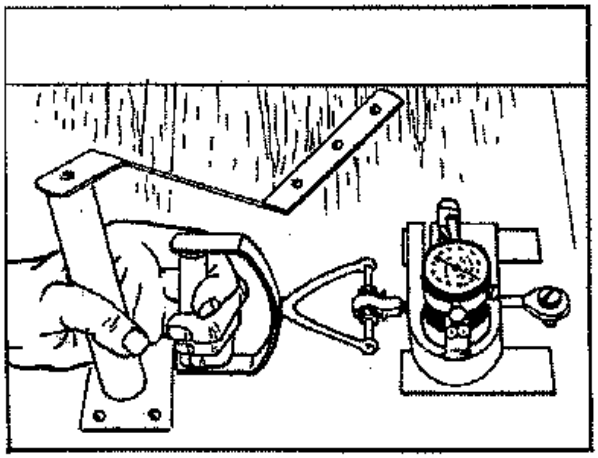

Figure 2.4° : Dispositif « retour d'effort° » : dynamomètre (d'après Stevens & Mack, 1959).

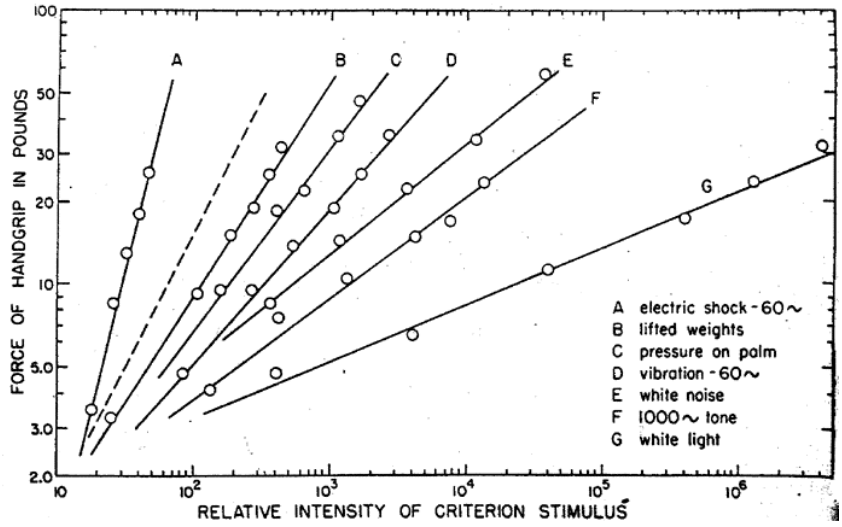

Figure 2.5˚: Sept fonctions d appariement. La position suivant l axe des abscisses est relative. La ligne discontinue correspond une droite dont la valeur de la pente sur cette chelle est 1. Chaque cercle correspond la valeur m diane des forces exerc es (d apr s Stevens, Mack & Stevens, 1960).

Continuum	Echelle de rapports		Exposants d termin s par la poign e	
	Exposant de la fonction de puissance	R f rence	Exposant pr dit	Exposant obtenu
Choc lectrique	3,5	S.S. Stevens, Carton & Shickman (1958)	2,06	2,13
Brillance d'une lumi re blanche	0,33	S.S. Stevens & Galanter (1957)	0,20	0,21
Sonie d'un bruit blanc	0,6	J.C. Stevens (1958)	0,35	0,41
Sonie d'un son pur de 1000 Hz	0,6	S.S. Stevens (1955, 1956)	0,35	0,35
Vibration de 60 Hz	0,95	S.S. Stevens (1959)	0,56	0,56
Lourdeur de poids soulev s	1,45	S.S. Stevens & Galanter (1957)	0,85	0,79
Pression sur la paume	1,1	J.C. Stevens & Mack (1959)	0,65	0,67

Tableau 2.3˚: Rapports des exposants d gale sensation, obtenus par la m thode par appariement avec une force, et obtenus par les m thodes d estimation de grandeurs et de rapports. (d apr s Stevens, Mack & Stevens, p.62, 1960).

2.8 Conclusion

L'utilisation d'une méthode d'estimation numérique ou de production de grandeur n'est pas envisageable dans une procédure d'évaluation en temps réel. Il est quasiment impossible d'associer en continu une valeur numérique proportionnelle à la sensation produite par les fluctuations temporelles à moins que les variations ne soient lentes. La méthode par appariement inter-modal paraît plus appropriée (intuitive, implicite, directe, stable). Elle permet d'établir une correspondance entre deux fonctions. Toutefois, elle ne suffit pas à elle seule pour déterminer la forme absolue de la fonction associée au stimulus physique traversé. En effet, si l'une des deux modalités appariées est déterminée de manière stable auparavant par une méthode d'estimation directe et si elle correspond bien à une fonction de puissance, il sera possible de déduire la forme de la fonction recherchée. Il serait donc nécessaire de procéder à un examen approfondi de la méthode dans le but d'envisager son application dans des procédures d'évaluation

Nous considérerons dans le chapitre suivant les travaux menés sur les séquences sonores dont la durée varie de quelques dizaines de secondes à quelques minutes. L'examen des méthodes issues de ces travaux et de celle que nous venons de présenter, permettra de mieux cerner les conditions incontournables auxquelles doit satisfaire une procédure d'évaluation en continu.

3 Mesure de la trace du présent

De nombreuses recherches dans le domaine de la mesure psychophysique de stimuli stationnaires permis d'élucider les biais expérimentaux liés aux différentes procédures utilisées. Ainsi, en tenant compte de la liste de recommandations empiriques, l'expérimentateur a acquis au cours de son expérience lui permettant d'analyser et de minimiser les variations des lois psychophysiques (Stevens, 1956). En revanche, peu de travaux ont abordé le problème de l'évaluation des sons non stationnaires, pour lesquels les méthodes classiques et connaissances psychophysiques ne suffisent plus. Il semble nécessaire de mettre au point de nouvelles méthodes en tenant compte des divers processus psychologiques du traitement temporel de l'information : mémoire, processus d'attention, effets de fatigue, ... Quelques auteurs ont proposé des méthodes spécifiques du jugement en continu de sons naturels de longue durée correspondant à des séquences sonores extraites de l'environnement urbain ou à des phrases musicales. Nous organiserons notre synthèse des travaux existants en abordant dans une première partie les techniques actuellement proposées de mise en échelle, leurs avantages et leurs inconvénients. Puis nous nous intéresserons aux applications et aux résultats expérimentaux. Enfin, nous proposerons une procédure spécifique d'évaluation en continu en nous focalisant sur son exploitation dans le domaine de l'évaluation subjective des sons de véhicules en ph

3.1 Introduction

Notre environnement sonore est constitué de toutes sortes de sons complexes dont l'ensemble constitue, dans un intervalle de temps donné, une "scène auditive" (Bregman, 1990). Chacune des sources est caractérisée par les relations existant entre ses propriétés acoustiques. Les régularités perçues de notre environnement permettent alors d'élaborer des stratégies d'organisation auditive. Ainsi, les propriétés d'un si

setransformedemanièrecontinueetlenteaucoursdu temps,etimpliquedes changementscontinusdescaractéristiquesdistinctives.Leschangementscontinusdonnent naissance à la perception d'une transformationqualitativeparexemplecroissant d'un train qui approche,l'accélérationd'une voiture,lasonoritécorrespondantà la mise en marched'un ordinateur.Ceschangementsparticipentà lasignatureacoustiquede la sourceetpermettentde déterminersonmode de fonctionnement.Nous percevonsces transformationsdans leurcontinuitéetnon comme une succession d'"instantanés". L'instantané correspondà la situationqui avantniaprèsne s'estproduitede transformation. Or ce n'est pas la cas dans notre environnement où chaque événement donnéest précédé et suivi par un changement qui le différencie.Ainsi,la composition en événements sonores d'une séquence signifiante produit une information sur lecontexteteldéroulementd'un scénario.Celaimpliqueaussiquenous puissions percevoirdestransformationsdiscontinues,c'est-à-direlasuccessionen l'ordre d'un événementparrapportà un autre:lepassagesuccessifde véhicules,lacloched'une horloge.C'estainsi,dans lavie de tous les jours,que nous interprétons les situations de notre environnement.Nous sommes capables d'avoir une impression continue des variationssonores.Lesens véhiculépar une séquencedanssaglobalitéseraitperdusi les sourcesétaientanalyséesde manièreindépendante.Hors contexte,une source ou un segmentsonoreserainterprétéetjugéavecplusd'attentionetdonc différemment.La plupartdesméthodesetdesétudespsychophysiquesdéveloppéesdepuisplusde trente ans ont permis principalement d'évaluer perceptivement des segments sonores courts, des instantanés acoustiques.Plusrécemment,l'intérêtprogressifconcernantla qualité acoustiqueurbaine a révélé la nécessité de développer des méthodes d'évaluation appropriées à des séquences sonores de longue durée (Kuwano, 1985; Fastl, 1990; Namba, Weber, 1991)

Dans chacunedesétudescommentéesdans la littératureconcernant l'évaluation de séquencessonoresde longuedurée,lesauteursinsistentsurlaméthodeutilisée,la détaillant, en décrivant ses avantages et inconvénients.Ainsi,de nouveaux dispositifs d'évaluationont vu le jour.Les méthodesexistantesne sontpasrésuméessous desnoms génériquescomme c'estlecasdans lechampde la psychophysique(méthodede discrimination,méthoded'estimationdirecte,etc.).Nous avonsessayé,dans lasuitedu chapitre de regrouperces méthodes en quatre familles(méthodes par catégories, analogiques,combinées,par descripteurssémantiques).Elles serontprésentéesau paragraphe3.2avec,pourchacune,une analysedesavantagesetdesinconvénients. L'ensembledesméthodesn'apasétédéveloppédans lemême objectif.Aussi,les travaux réalisés seront développés dans la suite en fonction de l'objectif poursuivi par les auteurs des stimuli :

les séquences sonores urbaines (S 3.3.1) et les (S 3.3.2). Pour finir, nous passerons en revue les conditions indispensables auxquelles doit satisfai l'élaboration d'une procédure d'évaluation en continu, et nous proposerons une procédure qui sera testée dans la partie expérimentale.

3.2 Echelles catégorielle, analogique, combina sémantique d'évaluation perceptive en continu

3.2.1 Méthode de jugement en continu par catégories

La méthode de jugement en continu utilisant des catégories a été développée dans le but d'étudier les fluctuations temporelles en intensité de sons extraits de l'environnement urbain (Kuwano, Namba, 1985, 1988). Dans cette procédure, le sujet juge la sonie à tout instant en utilisant un boîtier comportant 7 boutons correspondant aux catégories suivantes: "très très fort", "très fort", "fort", "moyen", "faible", "très faible" et "très très faible". A la fin de l'extrait sonore, il est demandé aux sujets de réaliser un jugement global en utilisant la même échelle.

Ce procédé est appliqué à des stimuli de longue durée étant donné que la tâche n'est pas difficile et que les sujets éprouvent peu de fatigue dans son accomplissement. Elle ne nécessite une attention particulière ni un entraînement spécifique du sujet. Celui-ci modifie son jugement dès qu'il perçoit un changement équivalent à l'écart entre deux catégories. Les catégories mentionnées peuvent être modifiées pour juger d'autres aspects qualitatifs des sons, par exemple, de "situation intolérable" à "situ

Cependant, il persiste une incertitude sur l'équivalence des écarts entre les différentes catégories en fonction des termes utilisés et de leur adéquation avec la sensation individuelle des sujets en fonction de la gamme de variation des stimuli. L'analyse des auteurs procure peu d'informations sur cette ambiguïté. Les données Weber (1991) montrent l'asymétrie entre les catégories par rapport aux plages de variation en intensité des stimuli.

Des recherches en psychologie ont mis en évidence, dans cette catégorie de tâches avec des stimuli statiques, l'influence de la gamme de variation d'un paramètre sur la forme de la fonction psychophysique recherchée (Parducci, 1982, Parducci, Wedell, 1986). De plus, il semble qu'un sujet utilise chacune des catégories avec la même fréquence. Haubenask (1992) a montré que lorsque les stimuli les plus fréquents sont

diffusés début d'expérien, moyennedesjugementdessujetestdéplacésuivant
leur distribution en intensité. L'ordre d'apparition joue donc un rôle m

L'inconvénient principaméthodedestqu'elle permetpasd'obtenderséponses
analogiques en fonctiondessignaux. Lessujetsouhaitenparfoisexprimerun
légerchangementdontl'amplitudeoutefois'espassuffisanpourjustifierlesaut
d'une catégorie. Larésolutiondel'échelleimposéeparl'utilisatiodecesptcatégories'est
donc pas suffisante dansces. Une procédureentempsréelsimilaireàlaméthode
d'estimatiodegrandeurpourraitêtreune solution, maisl'utilisatiodevaleurs
numériques n'pasappropriéeàl'évaluatiodeschangementsrapides. AussiKuwano et
Namba (1990) ont-ils développé une procédure par appariemenaudiovisuel dansaquelle
les sujets expriment en continuemenleurjugementenajustantlalongueurd'unelignèl'aide
d'un curseur, de telle façon qu'elle soit proportionnelle à la sensation

3.2.2 Méthode de jugement analogique en continu

La méthodepar appariemenaudiovisuedécritci-dessuspermetde retranscrire
manière analogique l'évdessujetsenfonctiodesfluctuatiodessignaux. Cette
procédureestéquivalenàtune procédured'estimatiodegrandeurdanslaquelle la
valeur numérique traduit la sensatiostimulus. Cependant, dansune procédure
d'estimatiodegrandeur, chaquesujetutilisalibremenune gamme de valeurs non
imposée. Or, dansprocédurpar appariemenaudiovisuel, longueurmaximaledela
ligne est fixée pour l'ensemble des sujets par le dispositif présentée
(écrandecontrôle, feuilldepapier, etc.). Laconséquencprincipadecettlimitation
associéàla longueurmaximaledela ligneestd'obtenien fonctiodeséchelles
perceptivesindividuellesdesvaleursde jugementécrêtées. Pour remédieà ce biais,
Kuwano etNamba ontélaborén dispositifteltque lalignaffichésurl'écrand'un
terminalestprojetésurun grandécranparlemoyen d'unrétroprojecteur. Ainsi, la
longueur maximale de la ligne n'estpas, cequipermetd'éviterunelimitatiotrop
importante des jugements.

De manière similaire, dansune expériencréaliséepar Fast (1989, 1991), lesujetestime
la sonie instantanée en temps réelàl'aidedéplacemend'uncurseursurunetable
de mixage. De nouveau, l'avantagdecettméthodeestlecaractènon analogiquedes
réponsesrécupérées. Maiscedispositifduitpeudefeed-backpourl'utilisateur, peut
donc engendrer des réponsepoécrêtéesvariatiomportantedesstimuli. Dans la
continuitédestravauxde Fast, Gottschling (1999) utilisun curseufigurantsurune
échelle analogique représentée sur l'écran de contrôle d'un ordinateur.

son jugement en déplaçant le curseur entre les limites de l'échelle étiquetée "extrêmement faible" et "extrêmement fort". Un inconvénient de la procédure permise en Fast que Gottschling est l'utilisation de deux échelles différentes afin d'effectuer respectivement les jugements en continu et le jugement global. Citons pour finir, le dispositif CRDI (Continuous Response Digital Interface) développé par Madsen (1996) permettant de suivre en continu les variations temporelles d'œuvres musicales, ainsi que celui proposé par Schubert (1996), 2DES (Two Dimensional Emotion Space), dispositif dans lequel l'émotion musicale est représentée en un espace graphique à deux dimensions.

3.2.3 Méthode de jugement combinatoire analogique/catégorie

Les deux procédés d'évaluation présentés, catégorie combinée ou non, ont été seul dispositif développé par Weber (1991). Il combinaison d'un jugement continu analogique et d'un jugement discret sur cinq catégories (*très fort, fort, moyen, faible, très faible*). L'écart entre chaque catégorie est supposé équivalent. Un curseur peut être déplacé par le sujet de cette échelle. L'avantage de ce dispositif est qu'il permet d'effectuer une évaluation sur une échelle analogique tout en fournissant, par l'intermédiaire des étiquettes associées aux catégories, une information sur le niveau de l'estimation produit par le sujet. L'utilisation de catégories permet d'éviter des effets de saturation dans les jugements.

Cependant, la gamme de variations des stimuli et le nombre de catégories sont autant de facteurs dont dépend la stabilité des résultats. Si globalement, le signal varie entre deux catégories successives, par exemple *moyen* et *fort*, le sujet doit alors réaliser une division mentale de l'écart "sémantique" correspondant afin d'affiner sa réponse. L'écart d'incertitude correspondant à la distance entre deux catégories peut être diminué en augmentant le nombre de catégories (Parducci, Wedell, 1986).

Notons que le même type de dispositif, comportant 5 étiquettes, a été récemment adopté par Hedberg et Jansson (1998) pour estimer en continu la qualité de différents types de sons. Ils se sont intéressés à deux attributs auditifs : la sonie et la brillance. Pour l'un, l'échelle associée s'étend de *très silencieux* à *très bruyant*, et pour l'autre, de *très sourd* à *très brillant*.

3.2.4 Méthode de jugement utilisant des descripteurs présélect

Dans le but de fournir un jugement multidimensionnel d'une partition musicale, une nouvelle méthode a été développée, la "méthode des jugements continus par des descripteurs présélectionnés" (Namba, Kuwano, 1991). La mise au point de la procédure expérimentale nécessite plusieurs phases. Dans la première, des auditeurs décrivent librement des performances musicales. Une analyse du descripteur permet de sélectionner une liste d'adjectifs. Dans la phase suivante, à partir de la liste, d'autres auditeurs sélectionnent et ordonnent les adjectifs les plus significatifs pour décrire les performances musicales. Plusieurs analyses statistiques permettent de révéler les principaux facteurs utilisés par les auditeurs pour décrire les performances musicales. Habituellement six à quinze adjectifs sont retenus correspondant aux principaux facteurs.

La liste ainsi définie est utilisée dans la phase des jugements en continu. A chacun des adjectifs est associé une touche. A tout moment l'auditeur peut appuyer sur la touche correspondant au descripteur le plus proche de son impression. Il est possible de sélectionner plusieurs à la fois (cela dépend de la dextérité du sujet). Un calcul de la fréquence de sélection de chacun des adjectifs choisis est réalisé pour chacun des sujets. Ainsi il est possible d'observer l'évolution au cours du temps de l'écoute, et d'identifier les différents passages de l'interprétation. La confrontation du descripteur consiste à une évaluation de l'impression globale à partir de la même liste d'adjectifs. De même, une mesure de la fréquence d'utilisation de chacun des adjectifs est

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de réaliser une description multidimensionnelle du contenu de sons non stationnaires à partir d'un vocabulaire présélectionné. Le point fort est de pouvoir comparer les jugements en fin de présentation d'une performance musicale.

Cependant, il semble que les jugements produits en continu par l'utilisation des adjectifs présélectionnés soient peu précis et peu d'information pertinente (voir figure 3.6). La procédure même de l'expérience rend difficile l'interprétation des résultats. En effet, les sujets sont libres d'utiliser simultanément plusieurs touches du clavier en fonction de leur capacité à percevoir et apprécier différents un caractéris instant donné. Aucune précision n'est apportée sur la faisabilité d'une telle tâche. L'éventualité d'une procédure d'entraînement sur des stimuli stationnaires n'est apparemment pas envisagée dans la procédure globale proposée. De plus, la possibilité d'émettre plusieurs jugements simultanés dépend de la dextérité manuelle des auditeurs. Une tâche de jugement en continu est une tâche difficile elle demande de la part de

l'auditeur de répondre instantanément, et donc d'être attentif et rapide. Elle peut être réalisée sans trop de difficulté lorsqu'elle concerne un attribut unique, mais lorsque l'auditeur se trouve devant une série de quinze boutons correspondant chacun à un adjectif différent, on imagine facilement la confusion pour émettre des jugements dans l'"instantanéité". Rien n'est mentionné à ce propos dans les travaux réalisés par Namba et Kuwano.

3.3 Application des méthodes d'évaluation en c

Nous abordons ici (§3.3.1 & §3.3.2) les travaux réalisés dans lesquels les méthodes d'évaluation en continu décrites précédemment sont appliquées. Ces méthodes sont été développées parfois dans des buts différents en fonction de la nature des stimuli testés. Ils sont principalement de deux types de séquences sonores correspondant à des ambiances urbaines et des phrases musicales. Ces deux types de stimuli ont été utilisés par Hellberg et Jansson (1998) ont intégré dans leurs travaux des bruits artificiels, à savoir des bruits blancs filtrés en fréquence et dont les contours en amplitude suivent différents types de fonctions (exponentielle, linéaire, discontinue). Les stimuli, sujets d'expérience, n'étant pas de la même nature, les questions abordées dans ces travaux ne sont pas nécessairement les mêmes. Aussi en fonction du type de stimuli abordés, nous avons scinder ces travaux et les points explorés en deux groupes.

3.3.1 Séquences sonores extraites de l'environnement urbain

Nous avons listé ci-dessous un certain nombre de points abordés dans plusieurs études concernant l'évaluation en continu des ambiances sonores urbaines. L'ensemble des questions n'est pas traité de manière systématique par tous les auteurs, certaines sont spécifiques aux méthodes utilisées.

3.3.1.1 Mesure de l'"instantané"

A partir de la méthode des jugements continus par catégorie, Namba et Kuwano (1978, 1985) étudient les processus temporels de l'évaluation en continu de l'intensité acoustique d'une séquence sonore. Cette séquence correspond à une scène de circulation routière d'une durée de vingt minutes. Les auditeurs effectuent leur jugement en continu en fonction des fluctuations en amplitude. Puis, immédiatement après la séquence, ils donnent leur estimation globale en utilisant le même dispositif. La figure 3.1 présente l'enveloppe *rms* du signal et l'enveloppe moyenne des jugements associé

En ce qui concerne les jugements instantanés en son, Namba et Kuwano introduisent la notion de "présent psychologique" (Fraisse, 1967). Les auteurs posent la question à quoi correspond un jugement dit "instantané". Selon Fraisse, le "présent psychologique" correspond aux changements que nous percevons par opposition à ceux que nous constatons (p.74, 1967). Par exemple ; j'entre dans le métro, il fait beau, je sors, le ciel est couvert. Je n'ai donc pas perçu la transformation mais j'ai constaté le changement grâce à ma mémoire.

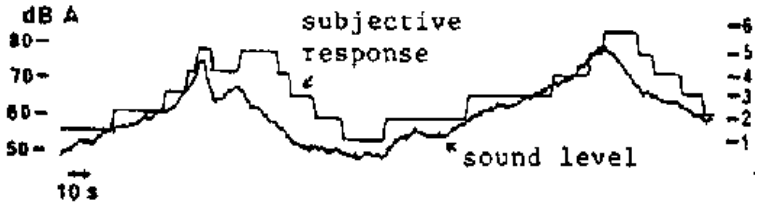

Figure 3.1° : Exemple d'un enregistrement des jugements continus par catégories représentés en fonction du temps en secondes. La deuxième courbe correspond à l'enveloppe rms du signal en dB (d'après Kuwano & Namba, p. 28, 1985)

En fait, la question à laquelle les auteurs répondent concerne la durée d'un jugement "instantané" de la sonie. Dans ce cadre, la durée d'intégration suffisante du signal sonore pour qu'un sujet modifie son jugement sur l'échelle proposée. Les mesures réalisées sur les profils de jugements continus font apparaître qu'en moyenne la durée d'intégration est de 2,5 secondes. C'est cette valeur qu'ils définissent comme la durée du "présent psychologique".

Notons que cette valeur ne peut être considérée que dans le cadre de la tâche spécifique réalisée dans l'expérience décrite. D'autre part, nous pensons qu'il n'est pas approprié d'utiliser le terme de jugement "instantané". Une photo est un instantané d'une scène visuelle. Il n'existe, en sonographie, rien de comparable à l'impression instantanée que permet la photographie. Les signaux sonores extraits de notre quotidien évoluent de manière continue, de telle sorte qu'il est souvent nécessaire d'anticiper : par exemple, l'accélération d'une voiture. Aussi, lorsqu'il s'agit d'estimer en continu les variations d'un signal sonore, notre perception à un instant donné dépend des transformations antérieures. On parlera alors plutôt d'une impression en continu que d'une impression instantanée. L'estimation d'un stimulus sonore à un instant séquence sera différente de l'estimation du même stimulus hors séquence

3.3.1.2 Délai de réaction

Il existe un délai entre la sensation provoquée par un changement de la sonie et le jugement correspondant. Il est nécessaire d'en tenir compte dans l'interprétation des données par rapport au signal. Ce délai dépend du sujet, de la méthode utilisée et du signal testé. Il a été évalué en déterminant la valeur maximale du coefficient de corrélation entre profils de jugements continus et le profil en intensité acoustique pour différents écarts temporels (voir § 6.5.1). Les données obtenues par Hedberg et Jansson (1998), en utilisant la méthode analogique catégorielle, montrent qu'en moyenne, plus il est difficile de suivre les contours en intensité d'un signal, plus le temps de réaction est important. D'autre part, le temps de réaction est plus important pour des petites que des grandes variations en amplitude. Globalement, le temps de réaction obtenu pour des jugements de sonie est en moyenne de :

- 0,5 s par la méthode analogique catégorielle pour différents types de signaux bruits "naturels", bruits "artificiels", musique - Hedberg et Jansson (199
- 0,5 à 1,5 s par la méthode analogique catégorielle pour une séquence urbaine d'une durée de 100 mn - Weber (1991),
- 1 s par la méthode des catégories pour une séquence urbaine d'une durée de 20 mn - Kuwano et Namba (1985).

3.3.1.3 De l'"instantané" à l'impression globale

La question essentielle des travaux réalisés par Kuwano et Namba (1978, 1985) est de déterminer une relation entre les jugements "instantanés" et le jugement global effectué immédiatement après la fin d'une séquence sonore testée. Dans leur analyse, ils évaluent une valeur moyenne des jugements continus obtenus avec la méthode de jugement en continu par catégories. Sur l'ensemble des sujets, le jugement global apparaît plus élevé que la moyenne des jugements continus. Au regard de ce résultat, les auteurs posent l'hypothèse selon laquelle le jugement global dépend principalement des événements dont les niveaux acoustiques crêtes sont les plus élevés et les plus importants. Afin de tester cette hypothèse, de courts extraits du son initial sont jugés en continu et globalement. Même si ces extraits ont une durée moins importante que la séquence initiale, ils sont toujours plus longs (de 27 à 132 secondes) que les stimuli généralement utilisés dans des procédures classiques d'évaluation psychophysique. Malgré des durées et des séquences d'événements différentes, le jugement global est toujours supérieur à la moyenne des jugements continus. Ceci confirme l'hypothèse posée par les auteurs.

Dans la continuité des travaux de Namba et Kuwano, Fastl (1991) étudie la sonie de séquences sonores représentant des scènes de circulation en utilisant une méthode de mesure perceptive analogique. Les jugements en continu sont obtenus en manipulant un curseur. A la fin de chaque séquence, les sujets donnent leur impression globale en marquant d'une croix une ligne de dix centimètres de longueur. En utilisant une méthode différente, Fastl retrouve les résultats obtenus par Namba et Kuwano. Les données montrent de nouveau que la valeur du jugement global est systématiquement plus élevées que les valeurs moyennes des jugements en continu.

Les auteurs expliquent ces résultats par une stratégie de mémorisation à long terme des événements ayant un niveau prépondérant. D'autres stratégies sont envisageables. Le jugement global, et donc final, ne serait pas la conséquence d'un processus de mémorisation sensori-audit prépondérant favorisant les derniers événements. Au contraire, le jugement global se s'établirait pas dès les premiers instants, devenant un jugement de référence par un processus de mémoire à long terme (principe de cohérence évoqué par Haubenask). La suite du test ne serait plus qu'une tâche à court terme correspondant à une succession d'événements et, seule la première "impression" persisterait.

Remarque : L'étude menée par Namba et Kuwano est une des premières sur l'évaluation des sons non stationnaires de longue durée. Elle contribue à des résultats significatifs. Comme toute démarche écologique, les stimuli utilisés, étant donné le peu de connaissances dans ce domaine, il aurait été souhaitable de faire varier le profil des jugements continus et le jugement global à partir de stimuli dont les paramètres acoustiques et la succession des événements puissent être contrôlés par les expérimentateurs. La même remarque peut être faite sur les travaux de Fastl (1991).

Plus récemment, Gottschling (1999) a testé trois procédures de calcul permettant de prédire la valeur du jugement global d'une séquence à partir des jugements continus obtenus en utilisant la méthode analogique (§3.2.2). Sur la base des résultats de Fastl, et de Kuwano et Namba, qui ont montré que la valeur du jugement global obtenue pour une séquence est supérieure à la valeur moyenne des jugements continus, Gottschling propose donc de calculer une valeur moyenne en modifiant les profils des jugements continus. Les trois procédures de calcul sont les suivantes :

[9] Le fait d'utiliser deux échelles différentes pour retranscrire respectivement les jugements continus et le jugement global d'une séquence sonore, nous paraît être un inconvénient méthodologique de la procédure utilisée par Fastl (1991). Malheureusement, aucune justification n'est donnée sur l'équivalence des jugements obtenus sur chacune des échelles.

- Selon l'hypothèse proposée par Kuwano et Namba (1985), les événements dominants en intensité influencent principalement le jugement global. La première procédure consiste donc à évaluer une valeur moyenne uniquement des jugements continus atteints pendant un faible pourcentage du temps (5%), c'est-à-dire les jugements dont les valeurs émergent par rapport à l'ensemble des jugements (voir bas de note n°4).
- Selon une autre hypothèse, les événements de niveau élevé laissent une trace mnésique plus longue que ceux de niveau plus faible. La procédure de calcul consiste alors à modifier le profil des jugements continus de manière à appliquer une décroissance exponentielle aux niveaux crêtes les plus élevés avec pour valeur de la constante de temps, 3 mn et 5 mn. La valeur moyenne des jugements continus est évaluée à partir du profil ainsi modifié.
- La troisième procédure de calcul est une combinaison des deux précédentes. Une décroissance exponentielle est appliquée avec une constante de temps de 10 s et 30 s. D'autre part, seules les valeurs atteintes 5% du temps sont prises

La meilleure estimation est obtenue par une transformation du profil des jugements continus en appliquant une décroissance exponentielle avec une constante de temps de 30 s. Puis la valeur moyenne est évaluée sur le profil modifié en ne tenant compte que des valeurs atteintes 5% du temps.

3.3.1.4 Corrélats acoustiques

L'analyse réalisée par Kuwano et Namba révèle que les jugements instantanés sont bien corrélés au contour du niveau acoustique mesuré en dBA pour une séquence sonore correspondant à une ambiance urbaine (20 mn). La même technique a été utilisée pour étudier la qualité d'un corpus de sons de voiture durant une phase d'accélération (Kuwano, Namba, Hato, Matui, Miura, Hatoh, 1993), en vue, ultérieurement, d'évaluer la sonie de séquences extraites des bruits d'hélicoptère et de train (Namba, Kato, Kuwano, 1995; Kuwano, Namba, 1995). Une corrélation significative est obtenue entre la mesure dBA et les jugements en continu. Ce résultat est optimum en tenant compte du temps de réaction individuel.

D'autre part, l'étude effectuée par Fast (1991) montre une bonne correspondance entre le profil des jugements et celui de la mesure de la sonie ISO 532 B (

En ce qui concerne une valeur mesurée qui permettrait de prédire la valeur du jugement global effectué en fin de présentation d'une séquence sonore de longue durée, selon leur

hypothèse, Kuwano et Namba proposent une mesure qui tient compte uniquement des événements dont le niveau acoustique est supérieur à une valeur donnée. La mesure qui correspond le mieux tient du compte acoustique dont le niveau est compris entre la valeur maximale et cette même valeur diminuée de 30 dB. Ce résultat semble stable quelle que soit la durée des stimuli.

Pour des segments de plus courte durée (de 27 à 132 s), les valeurs du jugement global obtenues par une méthode d'estimation obéissent à une loi de puissance en fonction des valeurs mesurées du niveau L_{eq}[10]. La valeur de l'exposant est 0,28 (Kuwano et Namba, 1985).

Pour des séquences sonores de longue durée (16 mn), l'auteur propose une valeur[11] de la sonie mesurée expliquant au mieux les valeurs du jugement global obtenues. Cette mesure correspond à une valeur de la sonie atteinte pendant 4% du temps (N_4). Elle rend compte de la prédominance des événements les plus bruyants. Ceci confirme l'hypothèse Namba et Kuwano. La mesure de la sonie globale obtenue à partir de la mesure du L_{eq} est plus faible d'un facteur de 1,5 que celle exprimée par la mesure du N_4. Ceci permet de constater que la sonie globale perçue est sous-estimée à 50% si elle est évaluée à partir d'une mesure du L_{eq}.

3.3.1.5 Différents types de jugements continus

Le profil obtenu d'estimation de la sonie avec la méthode d'évaluation analogique laisse apparaître des pics qui correspondent à des variations importantes du niveau acoustique (Fastl, 1991). Ces pics ne sont pas présents dans le profil des jugements de certains sujets qui utilisent l'échelle dans une gamme de variation réduite dans leurs jugements pour des niveaux importants. Ces pics n'émergent pas dans le profil résultant. Les profils des jugements continus présentés sur la figure 3.2 permettent de

---

[10] Le Niveau équivalent L_{eq} ou niveau moyen énergétique pendant la durée T est donné par la relation suivante :

$$Leq_A = 10\log\left[\frac{1}{T}\int_0^T \frac{P_A^2(t)}{P_0^2(t)}dt\right]$$

où P_0 est la pression acoustique de référence (20 µPa) et P_A (t) est la pression acoustique instantanée équivalente au niveau acoustique pondéré en dBA.

[11] A partir d'un enregistrement du niveau instantané, il est facile de connaître les niveaux dépassés pendant r% du temps (soit L_r pour le niveau acoustique, soit N_r pour la sonie), par ex
L_1 = niveau dépassé seulement pendant 1% du temps ; il représente pratiquement les poi
L_{10} = niveau dépassé pendant 10% du temps.
L_{90} = niveau dépassé pendant 90% du temps, il représente assez bien le bruit de fond.
L_{50}= niveau dépassé pendant 50% du temps, qui est un niveau médian.

L'expérience montre que le niveau L_1 relevé pendant 15 mn est stable et significatif pour la plupart des bruits industriels ou urbains. La répartition des niveaux de bruit au cours du temps est en général aléatoire (bruit de circulation) et suit souvent la loi de Gauss, lorsque le débit de

comparer deux types de jugements pour une séquence sonore respectivement de niveau bas et de niveau élevé. Le niveau élevé des jugements correspondant à la séquence de haut niveau est dû à la limitation technique de la méthode utilisée. En effet, selon l'échelle perceptive individuelle, la limite supérieure de variation du curseur est atteinte pour des niveaux élevés. Cette observation souligne un inconvénient de la méth

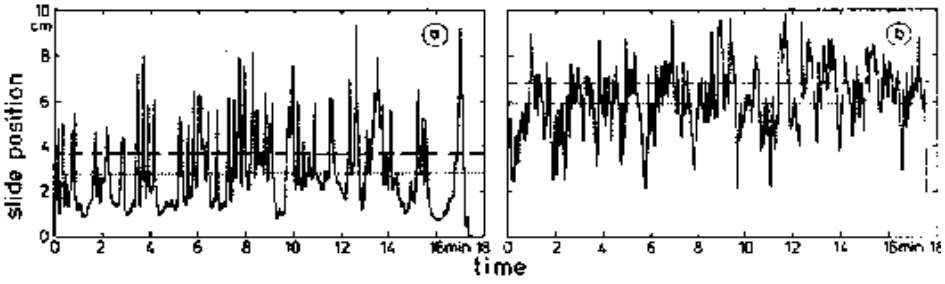

Figure 3.2˚: Exemple d un enregistrement des jugements continus effectu s en coutant une s quence sonore urbaine par la m thode analogique˚: (a) un son de niveau bas et (b) un son de niveau lev . Les courbes repr sentent la position du curseur associ e aux fluctuations per ues de l intensit acoustique. La ligne discontinue repr sente la valeur du jugement global. La ligne en pointill s repr sente la valeur moyenne des jugements continus (d apr s Fastl, 1991).

Dans la procédure employée par Weber (1991), et par Hedberg et Jansson (1998), la combinaison des deux échelles, analogique et catégorielle, n'est pas justifiée puisque représentative de la méthode de jugement utilisant uniquement une échelle par catégories. Cependant, une comparaison des profils individuels des jugements avec la courbe de suivi mesurée en dBA permet d'inférer différentes stratégies parmi les sujets. La majorité effectue un bon suivi du signal par une réponse quasi-instantanée de type analogique (Figure 3.3). En revanche, une minorité procède en donnant des réponses dites par "intégration". En d'autres termes, leur jugement semble modifié uniquement par les variations du niveau (Figure 3.4). Les données disponibles ne permettent pas de déduire si ce type de réponse correspond à une stratégie cognitive ou à une approche catégorielle influencée par l'échelle du même type. Notons que pour les sujets qui produisent des réponses dites par "intégration", les temps de réponse sont plus impo

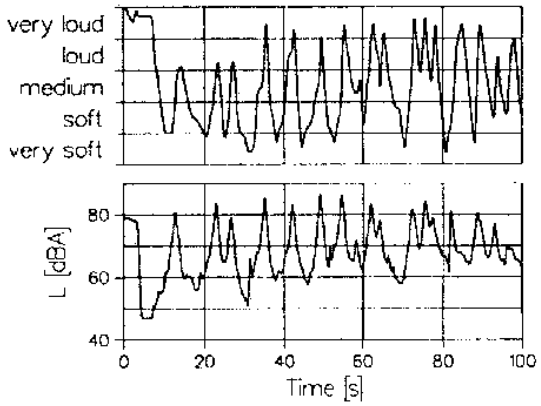

Figure 3.3°: Exemple d un enregistrement des jugements continus obtenus par la m thode analogique/cat gorielle. La courbe du bas montre la mesure du niveau acoustique en pond ration A r alis e en continu en fonction du temps exprim en seconde. La courbe du haut repr sente les valuations d un sujet le long de l chelle analogique/cat gorielle en fonction du temps. Les jugements sont effectu s d une mani re quasi instantan e par rapport aux fluctuations du signal (d apr s Weber, 1991)

Remarque : notons un inconvénient dans la consigne donnée par Weber aux sujets participants à son expérience. Un inconvénient qui peut introduire un biais expérimental dans les jugements. Weber justifie son intérêt pour un attribut unique et représentatif du quotidien, la sonie, en associant à ce terme l'idée plus générale de nuisance sonore. Cette assimilation ne semble faire aucun doute dans l'esprit des sujets (p. 26 1991). Cependant différents travaux distinguent les définitions de la sonie, de la qualité du bruit et de la nuisance du bruit d'un signal acoustique (Berglund, Berglund, Lingberg, 1988). Dans de nombreuses études, ces termes sont distingués. Nous pensons que la notion de nuisance est plus vaste que cel

[12] D finitions propos es par Berglund et al. (1975)

- La sonie est d finie comme tant un attribut perceptif du bruit qui est modifi en tournant le bouton de volume d'un poste radio. Tous les autres aspects perceptifs ou psychologiques doivent tre n glig s.
- "Noisiness" (aspect bruyant ou bruit) est d fini comme la qualit du bruit. Par exemple, le son d'un marteau piqueur peut para tre plus ou moins bruyant qu'un son provenant d'une moto m me s'ils sont consid r s sonie gale. De mani re similaire, la musique peut tre forte mais cependant elle n'est pas per ue comme bruyante.
- "Annoyance" (nuisance) est d fini comme l'aspect nuisant du bruit li au contexte d'une situation donn e. Pour souligner cet aspect, l'auditeur doit s'imaginer tre dans la situation suivante : "Apr s une dure journ e de travail, vous tes confortablement assis dans votre fauteuil et vous avez l'intention de lire votre journal".

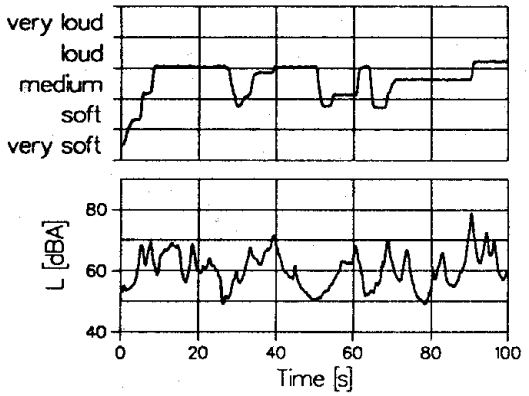

Figure 3.4°: Exemple d un enregistrement des jugements continus obtenus par la m thode analogique/cat gorielle. La courbe du bas montre la mesure du niveau acoustique en pond ration (A) r alis e en continu en fonction du temps exprim en seconde. La courbe du haut repr sente les valuations d un sujet le long de l chelle analogique/cat gorielle en fonction du temps. Les jugements repr sent s correspondent des r ponses dites par "int gration". (d apr s Weber, 1991)

3.3.1.6 Utilisation de l'échelle des catégories en fonction du

L'analyse des données recueillies par Weber (1991) fait apparaître en moyenne un écart de plus d'une catégorie entre les extrêmes des jugements portés sur l'ensemble des sujets. Ceci signifie que les sujets évaluent la sonie des sons en utilisant un niveau moyen différent de l'échelle des catégories, en d'autres termes, un référent différent. Plusieurs raisons peuvent être à l'origine de ces écarts : les sujets ont une sensibilité différente à la sonie, la compréhension des termes de l'échelle de l'intensité n'est pas la même d'un sujet à l'autre, certains sujets jugent l'aspect "nuisance" plutôt que la sonie des sons (voir la remarque au §3.3.1.5).

Les valeurs du jugement global sont regroupées autour de la catégorie "moyen" pour un niveau global de 68 dBA. Weber détermine pour l'ensemble des sujets de la séquence test la fréquence d'occurrence des différentes catégories pour un niveau donné. La moitié des jugements pour un niveau donné en dBA, varie sur une catégorie (Figure 3.5). L'étendue des jugements est non linéaire en fonction du niveau en dBA. Les jugements pour la large gamme de niveaux allant de 53 à 73 dBA sont réalisés sur une seule catégorie, entre "faible" et "moyen". La gamme de 83 dBA niveaux a sont représentées par une catégorie comprise entre "moyen" et "fort". Il semble donc que les évaluations correspondant aux niveaux acoustiques moyens [50 à 70 dBA] soient écrasées, et que les jugements correspondant aux niveaux les plus élevés [70 à 80 dBA] soient en comparaison dilatés. Il est habituel d'obtenir des fonctions du type concave en utilisant des échelles de catégories sur des stimuli évoluant selon un continuum prothétique (Galanter, Messick, 1961).

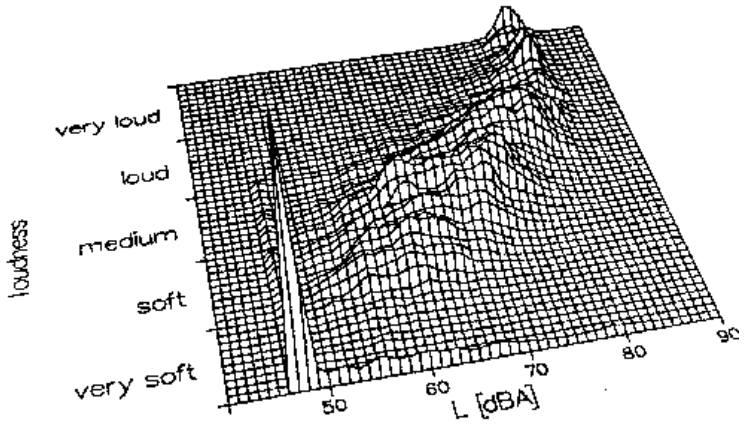

Figure 3.5°: Histogramme repr sentant la fr quence avec laquelle chaque position le long de l chelle analogique/cat gorielle est choisie pour un niveau acoustique donn de la s quence sonore test e (d apr s Weber, 1991).

Les niveaux proches des valeurs du haut de l'échelle sont mieux discriminés que ceux proches du bas de l'échelle. La représentation des jugements montre pour chacun un écart inter individuel plus grand pour les jugements correspondant aux bas niveaux. Ces résultats montrent une utilisation des références différentes de l'échelle des jugements sur l'ensemble des sujets.

3.3.1.7 Influence de la composition événementielle

Weber (1991) réalise une analyse des profils de jugements en continu des divers bruits présents dans la séquence testée. Ainsi il déduit quatre classes de bruit à partir de la valeur moyenne des profils de jugements. Ces quatre classes sont composées des sources de bruit suivantes: passage de voitures - transporteurs routiers enregistrés près d'un immeuble - passage rapide de voitures - trains.

Le fait d'utiliser différentes sons de l'environnement permet de déterminer l'effet du contenu événementiel sur le jugement des sujets. Les quatre classes de stimuli obtenues correspondent à quatre catégories de moyens de transport. Nous pensons qu'il serait intéressant d'observer si les mêmes classes apparaissent à des niveaux dBA égaux des niveaux. Si tel était le cas, on pourrait envisager le fait que l'évolution temporelle des signaux (fluctuation temporelle rapide ou lente, évolution fréquentielle...) influence de manière continue l'échelle d'évaluation des sujets. On peut supposer qu'à niveau acoustique identique, les quatre classes seraient le résultat d'une stratégie d'identification du type de source correspondant aux différentes catégories de transport. Dans ce cas, les profils de jugement serait modifié par reconnaissance des moyens différentes

transport. La valeur moyenne des profils sur la durée a tous les sources d'une classification des sources.

3.3.2 Phrases musicales

Les approches perceptives en continu de phrases musicales utilisant une méthode d'estimation en temps réel sont peu nombreuses. Les données disponibles ne sont pas traitées de la même manière que les données issues des travaux sur la sonie dessons de l'environnement détaillés précédemment. L'objectif est de mesurer chez un individu son appréciation à chaque instant et ainsi d'observer l'évolution de son impression jusqu'à ce qu'il donne son impression difficile d'une pièce musicale. Dans la suite, nous présentons successivement les deux principales études réalisées par Namba (1991) et Madsen (1996) dans le domaine musical.

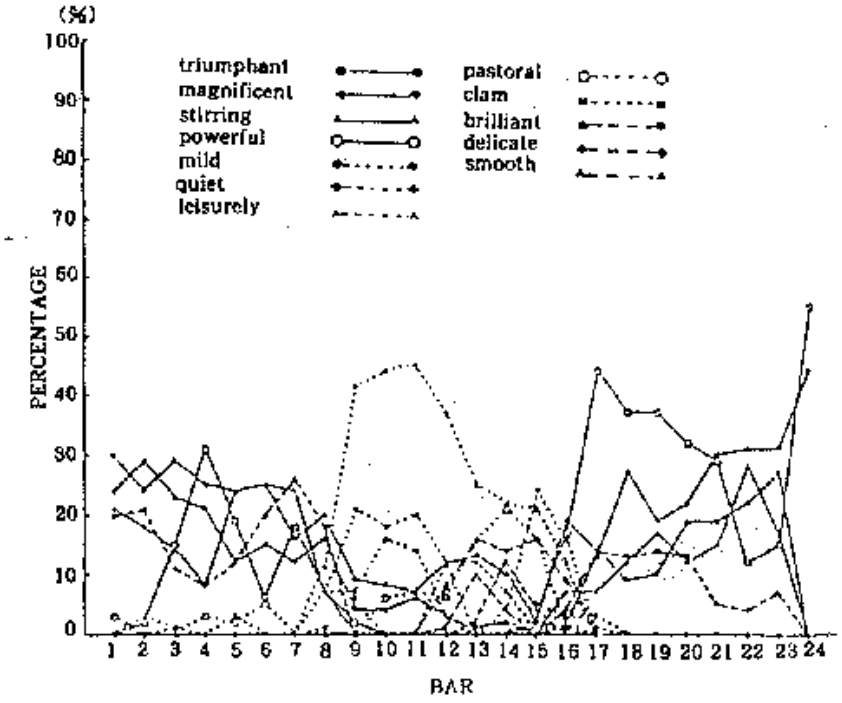

Figure 3.6°: Changements temporels des impressions d une performance musicale de "Tableaux d'une exposition" compos e par Moussorgsky. L axe des ordonn es correspond la fr quence de s lection d un descripteur, l axe des abscisses correspond au num ro de la mesure (d apr s Namba et al., 1991)

Namba et al. ont abordé l'étude de performances musicales en utilisant une approche de jugement multidimensionnel en continu (Figure 3.6). La procédure adoptée utilise la méthode de jugement par des descripteurs présélectionnés (Namba, Kuwano, Hatoh, Kato, 1991). Quatre performances des deux "Tableaux" d'une exposition composées par Moussorgsky sont interprétées par Ashkenazy (piano), Ashkenazy (orchestre), Toscanini (orchestre) et von Karajan (orchestre). Les différentes phrases sont décrites en continu et globalement par une liste de descripteurs sémantiques présélectionnés.

Pour une même suite, il est observé une certaine cohésion dans les profils des adjectifs choisis d'une performance musicale à l'autre. En ce qui concerne la première suite de chacune des performances, trois parties sont identifiées : le début lié à une impression de "somptueux", "milieu" calme et "la fin" puissante. Ces divers jugements semblent bien corrélés à l'énergie sonore des trois parties, qui a tendu pour certaines performances (von Karajan). Les résultats sont finalement comparés à un paramètre unidimensionnel. On peut alors se demander l'intérêt de l'utilisation d'une méthode multi

Les adjectifs utilisés pour les jugements en continu et globaux sont en général similaires à l'exception de certaines performances. C'est le cas d'une performance, jugée principalement "somptueuse" en continu, et "brillante" en impression de "brillance" semble être devenue dominante sur l'ensemble de la performance. Ceci signifie que des interactions entre les différentes parties peuvent donner naissance à une nouvelle impression. Une autre performance est qualifiée de "calme" sur l'ensemble de la séquence et "magnifique" en continu, ce qui peut être expliqué par un tempo plus lent sur la deuxième partie de la performance qui dominerait dans le jugement global. Ceci peut signifier que des impressions d'esthétique en continu ne contribuent pas forcément dans le même sens à une impression esthétique globale. Ce effet nécessiterait de tenir compte des processus de la mémoire mis en jeu.

Dans la continuité, Madsen (1996) s'intéresse à la notion "d'expérience esthétique" de la musique en étudiant les jugements continus sur une pièce musicale (Acte de Puccini) obtenus à l'aide du dispositif CRDI ("Continuous Response Digital Interface"). Tout le problème posé par Madsen tourne autour de la notion d'esthétique. Qu'appelle-t-on une expérience esthétique ou émotionnelle ? Est-il possible de juger de manière continue l'aspect esthétique d'une pièce musicale ? A quelle stratégie correspond ce jugement ? En d'autres termes, quels sont les principaux éléments musicaux ou auditifs sous-tendant un jugement émotionnel ? Madsen (1970, voir article 1996) propose une

définition d'une expérience esthétique correspond à une réponse émotionnelle et intellectuelle de la musique qui est modifiée et renforcée au cours du

L'extrait musical est diffusé plusieurs fois. A chaque passage, le sujet est focalise sur un aspect différent ; tout d'abord l'harmonie, la dynamique, le timbre, le rythme et un élément dit "global" correspondant à l'ensemble afin de déterminer la contribution de chacun de ces éléments à la réponse esth

L'ensemble des réponses inter individuelles est cohérent. Les "pics" et les "vallées" correspondant à des jugements négatif/positif esthétique musical se retrouvent d'un sujet à l'autre. Les réponses des non-musiciens sont similaires. Cependant, les profils obtenus ne permettent pas d'définir une échelle d'esthétique. En revanche, cette notion présente une évolution dynamique au cours du temps.

Les réponses obtenues pour chacun des éléments sont comparées avec la réponse correspondant à l'empreinte esthétique. Ainsi, un calcul du coefficient de corrélation sur des intervalles de 1 seconde donne une idée de la part de chaque élément à l'émotion musicale. Finalement, les résultats n'ont pas permis de répondre aux q

3.4 Conclusion

Les méthodes traditionnelles comparaison par paires, estimation de grandeur ne sont pas suffisantes pour étudier des signaux de longue durée – jusqu'à 100 minutes – et présentant des fluctuations temporelles. Il est donc nécessaire de réaliser une procédure expérimentale d'évaluation psychophysique en temps réel permettant d'obtenir un profil perceptif plus qu'une estimation globale du signal testé. Dans le tableau 3.1, nous résumons les différents types de méthodes que nous avons présentés (voir § 3.2), ainsi que leurs champs d'application. Ces méthodes présentent des avantages et des inconvénients décrits ci-dessus, et sont adaptées selon le type de signaux traités. Par exemple, la méthode utilisant des descripteurs pré-sélectionnés est encore le dispositif proposant une interface graphique bi-dimensionnelle développée spécifiquement pour l'analyse en temps réel de phrases musicales. Les échelles utilisées par Namba et par Weber correspondent à des échelles uni-dimensionnelles d'évaluation de la sonie. La facilité d'utilisation d'un type d'échelle permet d'obtenir des jugements sur des séquences de longues durées telles que des séquences sonores extraites de l'environnement. Afin de définir une procédure, il apparaît nécessaire de tenir compte des aspects temporels et dynamiques des signaux testés, ainsi que de leur nature. Les caractéristiques nécessaires d'un dispositif ne passent donc selon que les changements continus du signal dont

rapides ou lents, ou encore selon que la dynamique de variation est grande ou petite. L'ergonomie du dispositif développé pour cette étude a aussi été fonction de la tâche à effectuer et de la nature du signal.

Quoi qu'il en soit, le but est que l'auditeur puisse répondre instantanément à toute variation du son. Son jugement doit être formulé facilement, rapidement et sans discontinuité. De plus, il apparaît important de fournir au sujet une information en continu sur son niveau d'évaluation. Or, les échelles catégorielles produisent un retour d'information dépendant du nombre de catégories qui correspond à une faible résolution de l'échelle. D'autre part, les dispositifs catégoriels analogique/catégoriel graphique peuvent être utilisés pour estimer différentes caractéristiques qualitatives en modifiant étiquettes associées aux catégories. Il est, en effet, nécessaire que le dispositif réalisé puisse être utilisé de manière indépendante pour des auditeurs différents afin de ne pas être limité dans son utilisation. Mais le plus important est de réaliser une procédure expérimentale flexible afin de permettre un étalonnage individuel de la procédure en fonction de l'échelle perceptive propre à chaque auditeur et d'éviter aux sujets des effets de compression ou de saturation. Ainsi, les résultats obtenus auront une résolution optimum en fonction de la gamme de variation du stimulus.

Pour répondre à ces différentes conditions, nous proposons une procédure expérimentale à partir de la méthode d'appariement inter-modalités (voir chapitre 2). L'exploitation de la méthode dans une tâche d'évaluation continue sera examinée en utilisant un dispositif proprioceptif à retour d'effort. Le dispositif devra satisfaire les caractéristiques mentionnées et, son ergonomie se prêtera au mieux à l'évaluation des sons de voiture. La procédure sera tout d'abord testée sur un stimulus simple. Elle sera ensuite utilisée pour estimer en temps réel les fluctuations ainsi que l'impression globale en son de sons non stationnaires. L'ensemble des études détaillées dans ce chapitre portent sur des sons naturels, séquences sonores extraites de l'environnement quotidien. Afin de mieux cerner les relations entre le profil des jugements continus et le jugement global, nous testerons dans un premier temps notre technique d'évaluation sur des sons dont les contours temporels et les caractéristiques acoustiques seront contrôlés :

Méthode de jugemen en continu	Avantages	Inconvénients	Définitions des séquences sonores	Références
Catégories	Facile d'utilisation Peu fatigant Approprié à des séquences longues	Non analogique Résolution de l'échelle insuffisante Non équivalence des écarts entre les ca	Trafic routier	Kuwano , Namba (1978, 1985)
			Trains	Namba, Kato , Kuwano (1995)
			Hélicoptère	Kuwano , Namba (1991)
			Accélération de voiture	Kuwano, Namba, Hato, Matui, Miura , Imai (1993)
Analogique	Analogique	Peu d'informations en retour pour les sujets Ecrêtage des jugements	Trafic routier	Fastl (1991)
				Gottschling (1999)
			Musique	Madsen (1996), Schubert
Analogique Catégorielle	Analogique Information sémantique	Incertitude entre deux catégories Deux types de jugements / aux deux échelles	Trafic routier	Weber (1991)
			Bruit "artif	Hedberg et Jansson (1998)
Sémantique	Comparaison descriptif verbale continue /	Contenu Variabilité des résulats	Musique	Namba, Kuwano (1991)

Tableau 3.1 : Tableau récapitulatif des méthodes et de leurs applications

4 Mémoire - La trace oubliée

La perception d'une séquence d'événements ou la perception des fluctuations d'un signal de longue durée dépend de la trace mnésique et des indices cognitifs disponibles au cours du temps. La longueur de la trace est plus ou moins grande selon les processus de la mémoire mis en jeu. Lorsqu'il s'agit de reconnaître un air musical, d'identifier une voix familière ou de nommer la couleur d'une banane, ces processus sont heureusement robustes au temps. En revanche, en ce qui concerne des expériences auditives, la mémoire pendant une période de temps mesurable pour être ensuite restituée, nous sommes victimes d'un oubli progressif de la mémoire épisodique (Tulving, 1983). La perte est encore plus rapide, de l'ordre de quelques secondes, lorsqu'il s'agit d'effectuer une tâche qui implique un processus de mémorisation à court terme ou encore à un niveau plus bas, qui correspond à une empreinte sensorielle (système périphérique), par exemple, retenir un numéro de téléphone lu dans un annuaire, restituer la liste d'ingrédients d'une recette entendue à la radio. Ces différentes phases et processus de la mémoire ont été abordés principalement depuis le milieu des années cinquante dans de nombreux travaux aussi bien en situation de laboratoire qu'en situation clinique. L'essentiel des connaissances dans le domaine de la recherche sur la mémoire auditive est issu d'expériences réalisées en laboratoire. Les procédures expérimentales utilisées correspondent à des situations de rappel ou d'identification impliquant une forte composante verbale (phrases, mots, lettres, chiffres) ou mélodique (mélodies modifiées). Mais quasiment aucune étude n'a abordé les séquences sonores mises en jeu dans une procédure d'évaluation auditive impliquant des séquences sonores de longue durée (Springer, Schick, Weber, 1997).

Nos expériences seront élaborées et les données seront analysées en tenant compte des caractéristiques de la mémoire auditive qui seront présentés dans ce chapitre.

4.1 Introduction

Nous essaierons dans ce chapitre d'introduire les notions fondamentales concernant le fonctionnement de la mémoire humaine et plus particulièrement le domaine de la mémoire auditive à court terme. Dans le cadre de notre travail de recherche, nous souhaitons mieux comprendre les processus et les stratégies d'évaluation globale de la sonie de sons de quelques dizaines de secondes présentant des fluctuations auditives. Aussi au cours de ces expériences, l'auditeur devra-t-il formuler son impression globale sur le niveau acoustique des stimuli en fin de présentation. Etant données les variations temporelles et la durée des stimuli, le jugement sera pondéré par la trace mémorisée de sa perception continue des changements. Il est donc nécessaire de compte les effets spécifiques de la mémoire afin de pouvoir développer des hypothèses sur les processus sous-tendants les jugements effectués. Les processus mnémoniques mis en jeu dépendent aussi de la nature et de la signification des stimuli testés, uniquement en fonction de ses caractéristiques physiques. Dans ce cas, les modes de représentation catégorielle de l'auditeur ne sont pas principalement sollicités. En revanche, la connaissance des modes de rétention de l'information à court terme et sensorielle permettra d'interpréter les stratégies d'évaluation des signaux définis uniquement par leurs caractéristiques physiques. Dans ce cas, les séquences composées, d'une succession d'événements faisant appel à une représentation symbolique (par exemple, les séquences sonores urbaines) font davantage appel à des processus de reconnaissance et d'identification. Dans ces cas, les systèmes permettant la récupération de l'information sont liés à la mémoire à long terme (mémoire sémantique, mémoire épisodique).

Avant d'introduire les connaissances concernant les processus de stockage et de codage en mémoire à court terme et à long terme (§4.3 et §4.4), les deux grandes tendances théoriques actuelles seront rapidement présentées (§4.2). Au paragraphe 4.3.4, nous décrirons d'une manière schématique le célèbre modèle mathématique modulaire de la mémoire proposé par Atkinson et Shiffrin (1968). Le stock d'information à long terme est immense. Nous présenterons les processus de re-codage et les mécanismes d'organisation nécessaires pour l'utilisation des informations stockées en mémoire à long terme ; le modèle de Collins et Quillian (1969) propose une synthèse des processus de fonctionnement (§4.5.3). Puis, nous présenterons les travaux sur les r la mémoire auditive (§4.6). Dans un premier temps, un aspect historique de ce domaine nous amène à examiner une manifestation de la mémoire auditive, la mémoire en rappel immédiat, dans des tâches impliquant une forte balance. Dans ce cas, on peut

se poser la question sur la part de la modalité responsable de la supériorité par sensorielle visuelle dans le processus de mémorisation de l'information.

Finalement, en s'appuyant sur la littérature dans le domaine de la mémoire en audition, nous proposerons une procédure expérimentale spécifique aux tâches d'évaluation et de jugement global immédiat (§4.7).

4.2 Deux concepts : le stockage et l'attitude pr

Les premières recherches sur la mémoire proviennent du début du siècle avec les travaux de Ebbinghaus (1850-1909) qui publie en 1885 la première étude expérimentale de la mémoire et qui établit la première courbe de l'oubli. L'importance de son dans la démarche expérimentale réside dans l'étude l'apprentissage et l'oubli partir d'éléments artificiels sur un sujet unique (lui-même), dans des conditions très contrôlées. Malgré le succès de cette démarche, elle reste trop en dehors des conditions réelles du monde ; "elegant methods are not enough if they limit us to studying trivial questions" (Baddeley, 1990). Dans ce sens, Sir Francis Galton (1883) a contribué à l'étude de la mémoire dans le monde réel, ainsi que Barlett (1932). Aux Etats-Unis, l'approche de Ebbinghaus est suivie jusque dans les années soixante. Puis l'approche cognitive est devenue nettement dominante dans l'étude de la mémoire. De plus, l'apparition du monde informatique a remplacé peu à peu les anciennes techniques expérimentales.

En ce qui concerne la nature du stockage mnémonique, deux concepts apparaissent dans l'étude de la mémoire auditive. L'un d'eux est la théorie du stockage, selon laquelle la mémoire traduit l'existence de registres mnémoniques ou de réceptacles. Cette théorie correspond aux recherches des vingt-cinq dernières années qui tentent de définir différents types de "réservoirs mnémoniques" comme les mémoires échoïques (Crowder, Morton, 1969), iconiques (Sperling, 1960; Colheart, 1983) - respectivement pour les modalités

sensorielles auditives et visuelles est à long terme[13] (Cowan, 1984 ; Neisser, 1967).

A l'opposé, se trouve la théorie procédurale (Crowder, 1989 ; Kolers & Roediger, 1984), selon laquelle la mémoire n'est pas, en fait, une entité expérimentale. Aucune aire du système nerveux n'est affectée à la mémoire. Celle-ci est plutôt la persistance, c'est-à-dire le produit secondaire d'une activité mentale initiale impliquant une modification physique des circuits cérébraux qui participent à cette activité. L'hypothèse procédurale rejette l'éventualité d'une rétention de l'information dans des réservoirs mnémoniques comparables à des réceptacles. La rétention est ici une conséquence naturelle du traitement de l'information mis en œuvre par l'expérience en question. Le siège de cette expérience initiale dans le cortex cérébral est sa cérébral mémorisation (Farah, 1988). Ainsi le traitement auditif conduit donc à la mémorisation auditive. La mémoire auditive serait localisée dans les régions cérébrales du traitement auditif. Les différents types d'activité cérébrale auditive engageraient donc des lieux de mémorisation différents.

4.3 Processus de stockage

4.3.1 Les modules sensoriels ou mémoires sensorielles

La mémoire est un système de stockage, de codage et de restitution de l'information. Cette information est acquise à travers nos sens (visuel, auditif, olfactif, ...). Le stockage le plus court dure seulement une fraction de seconde et correspond à la mémoire sensorielle. Les mémoires sensorielles visuelle et auditive ont été nommées par Neisser (1967) respectivement mémoire iconique et mémoire échoïque. Elles représentent la première étape de la mémoire. Par exemple, à l'aide d'une cigarette, on trace, dans le noir, un message qui sera perçu par un autre individu. Ce dernier aura l'impression que le message est présent grâce à l'activité des cellules rétiniennes (mémoire iconique).

[13] Notons que certains cas cliniques (op ration c r brale, amn sie, ..) permettent de v rifier les hypoth ses issues d'exp riences r alis es en laboratoire. Par exemple, le psychiatre russe Korsakoff d duit une amn sie de l sions et de destructions de l'hippocampe. Les malades se rappellent des informations anciennes et stock es court terme. En revanche, ils sont incapables de retenir de nouvelles donn es long terme. Cette amn sie correspond une rupture entre les deux types de stockages, c'est- -dire que le processus qui permet le transfert entre la m moire court terme et la m moire long terme est endommag . De m me le cas d'un jeune homme H.M. d crit par Brenda Milner (1966), ayant subi une op ration bilat rale de l'hippocampe, montre le m me type d'effet sur la m moire long terme. Ceci souligne comme pr c demment deux types de stockage mn monique. Il y aurait donc bien deux types de capacit de m morisation, l une tant le stockage court terme, et l autre le stockage long terme.

4.3.1.1 Mémoire iconique

L'expérience suivante réalisée par Sperling (1960) met en évidence l'existence d'une mémoire sensori-visuelle très courte durée. Dans une expérience, un tableau de trois rangées de quatre lettres est présenté aux sujets pour une durée de 50 ms. Quatre ou cinq lettres, soit environ 40% de l'information, sont en moyenne rappelées (rappel total). Dans une tâche différente (rappel partiel), il est indiqué après la diffusion tabl aprèsn la diffusion aigu, médium ou grave, quelle rangée le sujet doit présenter. Ainsi les trois présentés parmi les sujets restituent en moyenne 75% d'une rangée ce qui laisse supposer que la mémoire sensorielle permet de stocker 75% du tableau soit 9 lettres. Un retard de quelques millisecondes introduit avant de diffuser le signal sonore montre le caractère très éphémère de la mémoire iconique estimée à 250 ms. Cette expérience montre que lors d'une visualisation brève, on voit plus que ce que l'on peut retran

Dans une autre expérience, un écran est présenté juste après la diffusion des lettres; l'écran a une influence sur le processus de restitution des lettres. La trace visuelle diminue d'autant plus rapidement que le support est clair. L'effet de masquage est efficace si le stimulus et le masquant sont tu présentés au même niveau. Ce résultat important signifie que le masquage est périphérique.

4.3.1.2 Mémoire échoïque

Différentes expériences ont été réalisées pour révéler un phénomène similaire de persistance dans le domaine de l'audition. En 1961, Goldhurst montre que la durée apparente d'un son pur est perçue comme réduite lorsque celui-ci est suivi par un autre. Dans une autre expérience, Plomb (1964) présente à des auditeurs deux bruits successifs. La tâche des auditeurs consiste à détecter la présence du deuxième son en fonction de différents paramètres. L'écart temporel (Δt) entre les deux sons ainsi que le niveau du deuxième (ΔL) sont modifiés. La durée des sons est de 200 ms. La détection du deuxième son est obtenue par exemple pour les combinaisons suivantes: Δt := 2.5 ms, ΔL = 65 dB ; Δt = 80 ms, ΔL = 15 dB.

Le paradigme de Sperling a été adapté dans le domaine de l'audition par Moray, Bates et Barnett (1965). Il est connu sous le nom de "l'homme à quatre oreilles". Dans cette expérience, quatre haut-parleurs sont disposés face au sujet. Des consonnes sont diffusées simultanément des quatre directions correspondant aux haut-parleurs. De manière similaire aux résultats obtenus dans le domaine visuel, la restitution du sujet est meilleure lorsque une des directions est choisie (rappel partiel) plutôt que l'ensemble (rappel total). Dans une expérience similaire (Darwin, Turvey, Crowder; 1972) une

combinaison de trois chiffres ("2,T,F") sont présentés simultanément à droite, gauche et au centre, soit au total neuf items. Il est demandé au suje entendus correspondant à l'une des trois voies indiquée par l'expérimentateur immédiatement après la diffusion des neufs items. Les résultats montrent que la quantité d'information retenue est de 5 items. Le nombre d'items mémorisés décroît en 4 secondes jusqu'à la valeur 4,25. Cette valeur correspond à celle atteinte lors

La comparaison entre le domaine visuel et auditif montre une supériorité du nombre d'items rappelés dans la modalité visuelle. Par ailleurs, les données montrent que l'information contenue en mémoire iconique décroît en quelques millisecondes (200 à 1000 ms) alors que pour la mémoire échoïque, la durée de stockage atteint environ 4 secondes (Loftus, Loftus, p. 21, 1976). Ceci peut laisser penser qu'il existe un type de stockage spécifique à l'audition d'une durée plus longue que celle de

4.3.1.3 Le type d'information stockée en mémoire sensorielle

Il est supposé que l'information contenue en mémoire sensorielle est l n'est pas encore analysée. Dans une autre expérience, Sperling (1960) utilise un tableau mélangeant des lettres et des chiffres. La condition est de rapporter lettres. Par rapport à la condition de rappel total, la condition "lettre-chiffre" n'améliore pas le résultat, environ cinq éléments sont rappelés. Ceci indique qu'à ce niveau de stockage, l'information est visuelle, sans sens. L'information n'a aucune signification tant qu'elle n'est pas transférée dans la mémoire à court terme.

4.3.2 Mémoire à court terme et mémoire à long terme

Il existe de manière classique deux grandes catégories de mécanismes de la mémoire en audition et en vision :

- un mécanisme à court terme : capacité limitée de stockage, oubli rapide, code acoustique.
- un mécanisme à long terme : capacité immense, oubli progressif, code[14].

4.3.2.1 La capacité limitée

La mémoire à court terme a une capacité limitée. En effet, le nombre d'objets ou d'unités pouvant être saisi par l'esprit varie autour de 7 (Miller, 1956). Le nombre total d'objets

[14] Certaines exp riences, au cours desquelles le temps de r ponse est mesur (voir Collins et Quillian, 1970), ont montr que l'information cod e en m moire court terme n'est pas uniquement acoustique mais aussi s mantique.

dépend en fait de la capacité de groupement des objets en unités. Ce processus de groupements sous-jacents des mécanismes mnémoniques est mis en évidence par la technique dite de la "mémoire immédiate" ; une séquence d'éléments est p[illegible] estimmédiat. Dans l'expérience réalisée par Ehrlich (1972) sur des informations linguistiques, les éléments sont présentés selon le cas, les éléments sont des mots ou des phrases qui comprennent respectivement 2, 3 ou 4 syllabes ou mots. Une certaine constance est observée dans le nombre d'éléments rappelés (mots ou phrases) alors que le nombre de syllabes ou de mots augmente lorsque 10 phrases de 4 mots sont présentées (soit 40 mots), le rappel correspond environ à un peu plus de 6 phrases soit environ 24 mots. Alors que lorsque 10 mots sont présentés, le rappel correspond environ à 7 mots.

nbr syll. ou mots	**2**	**3**	**4**
mots	6.81	6.58	6.20
phrases	6.75	6.47	6.23

Tableau 4.1°: Nombre de mots ou de phrases rappel s en fonction respectivement du nombre de syllabes ou de mots.

L'observation de ces résultats permet de déduire que le mécanisme de la mémoire à court terme procède comme une mémoire de type fichier en ne stockant que des indices clés, de façon analogue à un fichier de bibliothèque qui stocke une fiche par livre quelque soit le nombre de pages des livres.

Remarque : dans son article "The magical number seven, plus or minus two : Some limits on our capacity to process information" (1956), George Miller fait remarquer avec humour l'importance du chiffre 7 dans les traditions culturelles : les 7 merveilles du monde, les 7 jours de la semaine, les 7 notes de musique, les 7 nains, Blanche Neige e[illegible] péchés capitaux, etc.

4.3.2.2 L'information transférée en mémoire à court terme

L'information transférée et stockée en mémoire à court terme dépend du choix de l'individu. Celui-ci choisit par un processus d'attention "renforcée" et volontaire l'information qui sera maintenue. L'information qui sera ignorée est donc perdue de la mémoire sensorielle (processus "top-down"). Le choix est dicté par la tâche que l'individu tente d'accomplir. Un bon exemple est celui connu sous le nom d'effet "cocktail party" ; dans une situation bruyante (restaurant, hall de gare, etc.) on a toutes les informations en stockage sensoriel. Une part de l'information qui l'intéresse est transférée dans la mémoire à court terme. Un individu qui voudrait saisir deux informations

simultanément est obligé de commuter sans arrêt entre les deux sources. Le paradigme expérimental de l'écoute dichotique (Moray, 1959). Dans cette expérience, deux messages différents sont diffusés sur les deux oreilles du sujet qui a pour consigne d'être attentif uniquement à une voie. Après un bref délai, l'information diffusée par l'autre voie n'est pas retenue. Cependant, si l'expérience est interrompue brutalement, la personne peut commuter et reconnaître l'information située dans une autre partie du stockage sensoriel.

4.3.2.3 L'oubli à court terme

L'information transférée dans la mémoire à court terme est maintenue par un processus d'autorépétition volontaire. L'inhibition de ce processus permet de mesurer le temps nécessaire pour que l'information disparaisse de la trace. Dans ce but, il est important d'avoir une technique précise pour rendre compte de l'oubli rapide caractéristique de la mémoire à court terme. Peterson (1959) montrent par une technique similaire dans laquelle l'autorépétition est empêchée (tâche de "Peterson"[15]) que l'oubli est total au bout de 18 secondes. Seulement 10% de l'information de départ est transféré dans à la mémoire au bout de 15 secondes. Cependant, les résultats empiriques suggèrent que ce sont des interférences de l'information plutôt que la détérioration de l'information qui est la première cause de l'oubli. En effet, l'oubli dépend des événements qui suivent l'acquisition de l'information, interférence rétroactive, mais aussi ceux qui la précèdent, interférence proactive (Keppel et Underwood, 1962). Cet effet est identifié dans le domaine de la mémoire auditive et nommé "effet de suffixe". (voir §4.6.2)

4.3.2.4 Les effets sériels : mémoire à court terme et mémoire à

Cependant, il n'existe pas de situations pures dans lesquelles la mémoire à court terme et la mémoire à long terme sont dissociées. La technique du rappel libre permet de distinguer les deux formes de stockage selon deux composantes qui s'additionnent (Murdock, 1962 ; Craik, 1970). Afin de distinguer ces 2 types de stockage, le rappel immédiat et le rappel différé d'une liste d'éléments (mots, chiffres, etc.) sont comparés. Dans le rappel différé, une tâche distractrice similaire à celle de "Peterson" est utilisée. La courbe de pourcentage correct de rappel en fonction de la position sérielle des mots a une

[15] Description de la tâche de "Peterson"°: une série de trois consonnes est présentée au sujet (une toutes les demi secondes)°; à la fin un nombre de trois chiffres est présenté et le sujet doit compter à rebours de trois en trois suivant le rythme d'un métronome (demie seconde) sur une durée allant de 0 (rappel immédiat) à 18 s. La tâche de décompte inhibe l'autorépétition, mécanisme lié au transfert de la mémoire à court terme vers la mémoire à long terme.

forme en "U" dont la branche de droite et de gauche correspondent respectivement à un très bon rappel des derniers et des premiers éléments: ces deux types de stockage correspondent à un effet de récence et à un effet de primauté. Quelque soit le nombre d'éléments, l'effet de récence est constant alors que l'effet de primauté baisse lorsque la longueur de la liste augmente. En augmentant le délai de rappel, l'effet de primauté persiste alors que l'effet de récence disparaît complètement. Une explication partielle de l'effet de primauté est que les premiers items d'une liste sont réinjectés par subvocalisation (voir 4.3.5) un nombre de fois plus important que les autres. Leur position en début de liste ne paraît pas être la cause de l'effet de primauté. Le mécanisme d'autorépétition (subvocalisation) permet donc de maintenir l'information en mémoire à court terme et participe au mécanisme qui permet son transfert vers la mémoire à long terme. Ces résultats reflètent deux types de stockage différents: le processus de stockage à long terme et l'effet de récence reflète le processus lié à la mémoire à court terme.

4.3.3 Mémoire à court terme et mémoire de travail

Il apparaît que la mémoire à court terme corresponde pour une part à une activation de différents modules spécialisés, visuel ou sémantique par exemple, au moment où l'information est codée, ce qui produirait notamment l'effet de récence. Mais il existerait également une structure spécifique qui combinerait des informations provenant d'autres modules, lesquels permettent d'effectuer simultanément un certain nombre de tâches cognitives, telles que apprendre, raisonner et comprendre. Cette structure correspondrait au processeur central nommé la mémoire de travail (Baddeley, 1986). Trois grandes composantes y apparaissent: l'une pour la rétention et la manipulation des codes acoustiques, une seconde pour le maintien et la manipulation des codes visuo-spatiaux et une troisième pour gérer le maintien et la manipulation de cette information.

4.3.4 Modèle modulaire de la mémoire

Le découpage en trois grandes catégories de la mémoire ainsi que leur interaction (le phénomène d'autorépétition) ont été décrits complètement par Broadbent (1958), et plus particulièrement par Atkinson et Shiffrin (1968) qui en ont donné une formulation mathématique. Pour résumer brièvement, l'information est captée par les systèmes sensoriels périphériques et stockée dans la mémoire sensorielle (échoïque, iconique,) sur une durée très brève, inférieure à une seconde. Puis l'information est perdue alors qu'une autre partie est sélectionnée intentionnellement (processus descendant) et

maintenue temporairement par autorépétition en mémoire à court terme. La capacité limitée, l'oubli rapide (inférieur à 18 secondes) de la mémoire à court terme ainsi que l'interférence avec d'autres informations sont pris en compte. L'information stockée en mémoire à court terme est soit perdue soit transmise en mémoire à long terme par le même processus d'autorépétition.

Le principal défaut de ces modèles est de confondre la notion de stockage avec celle de codage. L'idée générale de ces modèles est que le stockage à court terme est le mode de stockage des codes sensoriels et le stockage à long terme est le mode de stockage du code sémantique. Or le temps de jugement sémantique est très court, de l'ordre d'une seconde, même en comprenant le temps nécessaire de la réponse du sujet (Collins et Quillian, 1969). Par conséquent, dans les temps usuels des expériences de mémoire, les mots sont tous identifiés sémantiquement, il n'y a pas lieu de penser que les mots retenus par un effet de récence sont seulement codés dans une mémoire sensorielle et plus précisément acoustique, comme l'ont suggéré certains auteurs.

4.3.5 Autorépétition, subvocalisation et système vocal

Il a été montré par électromyographie (Hardyck, Petrinovitch, 1970) un effet de subvocalisation chez l'adulte lors d'une tâche de lecture. Ce système verbal qui est en quelque sorte l'imprimante de notre mémoire est appelé le système lexical de sortie. En d'autres termes, l'activité de mémorisation d'un processus de subvocalisation répétitive appelé autorépétition, correspondant à une boucle verbale ou articulatoire. Dans des situations de contrôle, dans lesquelles le processus d'autorépétition est inhibé, le rappel est fortement diminué. L'autorépétition permet de réinjecter en mémoire l'information vocalisée.

Ce processus semble avoir deux fonctions principales :

- une ré-injection de bas niveau correspondant à un code acoustique de l'information, permettant ainsi de tenir l'information en mémoire temporaire (mémoire à court terme).
- une ré-injection de haut niveau correspondant à un code élaboré (mémoire sémantique), à un code associatif (mémoire imagée) et à une organisation de l'information.

4.4 Codage en mémoire

Dans la perspective de la psychologie cognitive, entre le moment où l'information est captée sous forme d'énergie physique et le moment où nous restituons ces informations mémorisées, l'information est codée depuis des codes sensoriels jusqu'à des codes plus abstraits comme le codes sémantiques. Les différents codes mnémoniques marquent une distinction supplémentaire entre la mémoire à court terme et la mémoire à long terme. Les codes acoustiques (basés sur la subvocalisation) sont prédominants dans la mémoire à court terme, les codes sémantiques sont les codes prédominants de la mémoire à long terme. En effet, des expériences ont montré que les erreurs au niveau de la mémoire à court terme sont de type acoustique alors que celles qui interviennent au niveau de la mémoire à long terme sont de type sémantique. Cependant, cette correspondance est remise en cause (Baddeley, 1966; Baddeley, Levy, 1971). En effet, lorsque l'on étudie la mémoire à court terme, le matériel utilisé consiste principalement des séquences de lettres, de nombres, de syllabes dépourvues de sens ; chaque élément pouvait être désigné mais n'était pas vraiment porteur de sens. Il n'est donc pas très surprenant qu'une personne utilise des codes acoustiques plutôt que des codes sémantiques pour maintenir une telle information en mémoire à court terme.

4.4.1 Code acoustique

Dans une tâche de lecture, on observe souvent des erreurs de type acoustique et non graphique (Sperling, 1963). Cette observation montre que l'information visuelle est traduite en information acoustique. Par exemple, *B* est confondue avec la lettre *V*, en revanche, *P* est confondue avec *D* ou *T*, *M* avec *N* (Conrad, 1964). La traduction d'un matériau visuel en un code acoustique n'intervient pas seulement lors de lettres ou de chiffres, l'exemple le plus courant est le re-codage phonologique dans la lecture. Le mot est codé en un code lexical correspondant à ses caractéristiques visuelles (image graphique) et acoustiques grâce à l'activité de subvocalisation. Il est alors possible d'accélérer la vitesse de lecture en supprimant le processus de subvocalisation et en ayant ainsi accès directement au sens du mot.

4.4.2 Code sémantique

Deux types de codage correspondent à un mot : le code lexical, correspondant à la morphologie du mot et le code sémantique, correspondant aux caractéristiques conceptuelles abstraites de l'objet représenté par le mot. Certaines informations contenues dans la mémoire à long terme concernent des événements de notre expérience personnelle. Le processus qui concerne ces événements est connu sous le nom

de mémoire épisodique (Tulving, 1983). Cela concerne plus particulièrement les associations de temps et de lieu, et de connaissances du type "une fraise est rouge", "un oiseau vole", n'ont rien à voir avec des informations utilisées pour la rétention de l'information épisodique. Elle est la mémoire sémantique. Elle est le siège d'un processus qui nous permet d'organiser nos connaissances, d'une part, sur les mots et autres symboles verbaux en ce qui concerne leurs relations, leurs référents, sens, leurs entre eux, et d'autre part, sur les règles qui permettent de les manipuler. Un certain nombre d'expériences ont en effet montré que globalement l'information stockée en mémoire à long terme est sémantique. Par exemple, dans une procédure nécessitant une longue rétention du mot *CAR*, les erreurs commises consisteront plutôt à utiliser les mots VEHICULE, AUTO, TRIUMPH que les mots CAP qui sonnent comme CAR (Anisfield et Knapp, 1968; Baddeley, 1966; Grossman et Eagle, 1970).

4.4.3 La supériorité des images sur les mots

De nombreuses expériences ont démontré une mémorisation plus importante pour des informations imagées (Denis, 1980) que pour des informations verbales. De plus, la représentation des étapes de l'action par un film ou plusieurs photos améliore encore le rappel.

4.4.4 Le double codage

Pour expliquer la supériorité du rappel de l'image par rapport au mot, une hypothèse est proposée selon laquelle l'image évoque immédiatement le mot. Paivio (1969) a remarqué en outre que le rappel des mots abstraits est inférieur à celui des mots déduit la théorie du double codage selon laquelle l'image évoque le mot : le mot concret évoque une image, ce qui n'est pas le cas du mot abstrait. Un facteur important dans le processus de double codage est que la dénomination exige un temps supplémentaire d'environ 300 ms par rapport à la lecture ; ce temps supplémentaire est attribué au temps d'interprétation de l'image en mémoire sémantique qui passe par un accès lexical.

4.5 Organisation

Le stock d'informations de la mémoire à long terme est immense et des mécanismes d'organisation sont nécessaires pour utiliser ces informations.

4.5.1 Mécanismes de groupement

L'organisation comporte deux mécanismes (Miller, 1956) : un mécanisme de groupement (les *chunks*, les morceaux) et un mécanisme de codage de ce groupement dans un code plus économique. Chaque groupe est codé par un nombre de symboles moins grand (exemple voir §4.3.2.1). C'est cette économie du nombre de symboles qui permet en fait de dépasser la capacité de la mémoire. Pour Miller, les groupements en le prototype du mécanisme de la mémoire.

4.5.2 La catégorisation

Bousfield (1953) a montré que dans les cas où la mémorisation des stations concerne mélangés mais provenant de catégories conceptuelles (fleurs, oiseaux, métiers, etc.), les sujets ont tendance à reconstituer les catégories au rappel sans qu'on leur demande : c'est le phénomène de catégorisation au rappel. Le langage est lui-même une organisation complexe et offre évidemment de grandes possibilités d'organisation en mémoire.

4.5.3 Le modèle de Collins et Quillian (1969)

Dans ce modèle, la mémoire sémantique repose sur deux grands principes :

- Le principe de hiérarchie catégorielle : les concepts de la mémoire sémantique sont classés de façon hiérarchique, les catégories étant emboîtées dans des catégories plus larges comme dans une arborescence.
- Le principe d'économie cognitive : seules les propriétés (ou attributs) spécifiques sont classées avec les concepts.

Par exemple, un canari est jaune mais non tous les oiseaux, donc la propriété "jaune" est classée avec le concept de canari que des propriétés générales comme "a un bec", "a des ailes" ... sont classées avec le concept d'oiseau. Dans le modèle, le prend contexte d 75 ms pour passer d'un niveau à l'autre. Dans leurs expériences, Collins et Quillian utilisent une technique de temps de réaction avec l'idée que le temps de jugement sémantique sera d'autant plus long que la distance sémantique sera grande entre les concepts et les propriétés. Selon ce modèle, on peut prévoir que le temps de jugement sémantique sera plus long lorsque les propositions comportent des propriétés "un canari peut voler" par rapport aux phrases qui ne mettent en jeu qu'un des concep canari est un oiseau", en effet, les propriétés étant classées avec les catégories, l'accès aux

propriétés demande une étape de plus par rapport à la catégorie. De nombreuses recherches ont confirmé dans l'ensemble le principe de hiérarchie caté

4.6 La mémoire auditive

4.6.1 Le masquage en mémoire échoïque

De manière similaire aux résultats obtenus dans le domaine de la vision, Deatherage et Evans (1969) montrent qu'un son cible bref suivi d'un son masquant est dégradé uniquement lorsqu'ils sont présentés à la même oreille. Les résultats d'expériences de masquage rétroactif acoustique sont similaires à ceux obtenus dans des tâches de restitution avec une présentation auditive suivi d'un suffixe. Dans une tâche d'identification entre un son pur grave (770Hz) et un son pur aigu (870Hz) suivi d'un son pur masquant (820 Hz), (Massaro, 1970) a constaté que le taux d'identification correct augmente avec l'écart temporel entre le son cible et le son masquant. Entre 0 et 250 ms, il y a recouvrement au niveau du traitement sensori-auditif. Et si, selon la théorie procédurale, le siège du traitement auditif est aussi le siège de la mémorisation. De même, Guttman et Julesz (1963) montrent que le système auditif périphérique est capable de stocker des informations d'au moins 250 millisecondes. Tous ces résultats montrent que l'on peut appeler un phénomène de "persistance auditive" ou mémoire échoïque.

4.6.2 L'effet modalité/suffixe en mémoire à court terme.

Dans l'expérience de rappel sériel immédiat dans laquelle le sujet doit restituer les items (mots, lettres ou chiffres, voir § 4.3.2.4) dans l'ordre d'apparition immédiatement après leur présentation, apparaît un avantage considérable de la présentation auditive sur la présentation visuelle pour les derniers stimuli (figure 4.10). On parle de l'effet modalité auditive par rapport à la modalité visuelle dans le stockage à court terme.
D'après Crowder et Morton (1969), dans la présentation auditive, deux facteurs entrent en jeu donnant accès d'une part à la signification des stimuli présentés, d'autre part aux caractéristiques acoustiques des stimuli les plus récents (mémoire sensori-auditive) par rapport à la tâche de rappel. Dans ce type de présentation, on ne peut ignorer dans le processus de mémorisation des stimuli la part due au codage verbal. Cette remarque est aussi bien valable pour le codage auditif que pour le cod

La différence constatée entre les modalités visuelle et auditive est attribuée au stockage acoustique pré-catégoriel (ou pré-sémantique). Cependant aucune explication n'est

apparue satisfaisante à ce jour, d'autant plus qu'en ce qui concerne les items les plus récents de la série, les expériences de Collins et Quillian montrent que les mots sont identifiés sémantiquement dans des délais rapides (1 s environ), ce qui signifie qu'ils ne sont pas uniquement codés en un codage acoustique.

L'aspect dynamique des stimuli auditifs par rapport aux stimuli visuels est apparu comme un indice significatif de l'effet de récence. Cependant, des expériences réalisées à partir de stimuli visuels rendus dynamiques n'ont pas validé cette hypothèse.

Il semble toutefois, que l'effet de récence ne soit pas uniquement lié à la modalité auditive. En effet, Campbell et Dodd (1980) le même type d'effet avec des items lus sur les lèvres. D'autres travaux ont montré le même résultat avec diverses modalités sensorielles incluant les sensations tactiles (Manning, 1980).

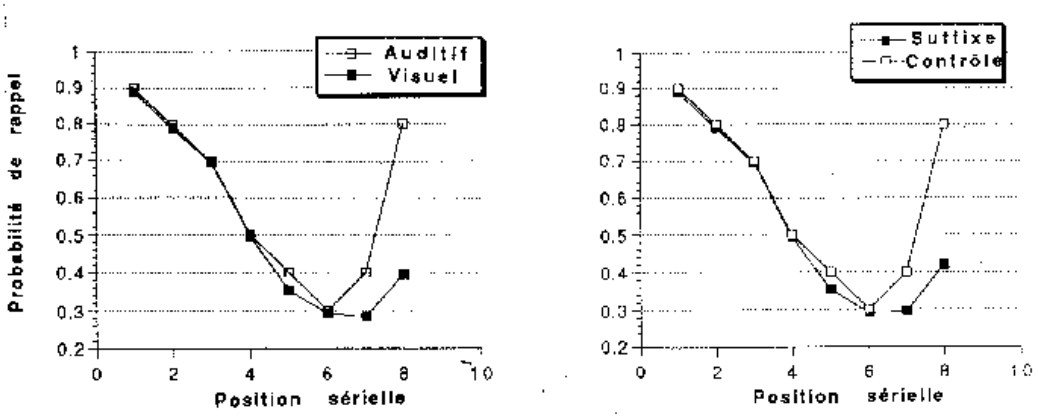

Figure 4.1°: Courbe sch matique de la position s rielle illustrant l'effet de modalit (gauche) et l'effet de suffixe (droite). Dans les deux cas, la probabilit de rappel est repr sent e en fonction de la position s rielle (d'apr s Crowder, p. 128, 1994).

Un numéro de téléphone sera donc mis à l'extrémité si il est transmis auditivement plutôt que visuellement. Si l'énoncé du numéro de téléphone est imbriqué dans une phrase ": le numéro de Mr. Amné est le 22 32 54 82, mais seulement après 19h00", l'effet de modalité disparaît. Le message : "mais seulement après 19h00" qui suit le numéro produit un effet de masque informationnel rétroactif appelé effet de suffixe (Crowder, Morton, 1969). Le stimulus acoustique qui produit cet effet est appelé suffixe acoustique, présenté en supplément et en fin de liste, il supprime l'avantage du codage auditif sur les derniers stimuli de la liste (figure 4.1). Cet effet est lié à la nature des stimulus sur le précédent dans une présentation auditive. Seul le stimulus n'est pas perturbé, il est correctement restitué. La signification du stimulus acoustique n'altère pas la tendance du suffixe à réduire la performance de restitution en fin de liste (Crowder, 1976). En revanche, le caractère physique différencial entre les suffixes ont un effet

important. Par exemple, si la liste est suffixe, l'effet de récence disparaît. En revanche, si le suffixe est une sonorité "du type" de cellule, l'effet de suffixe ne disparaît pas complètement.

D'autres études ont mis en évidence le même type de pré-catégoriel ce qui concerne la présentation de syllabes variant uniquement selon la voyelle, par exemple, les syllabes *ga, gou, gui* (Crowder, 1971; Darwin et Baddeley, 1974). En revanche, les effets de modalité et de suffixe n'apparaissent plus lors de présentation de syllabes ne se différenciant que par l'occlusive initiale (*ba, da, ga*). Ces résultats suggèrent que l'effet de modalité repose sur un mécanisme temporaire du système périphérique auditif. Selon la théorie procédurale, il s'agit d'un stockage pré-catégoriel dont le siège est celui de l'activité produite c'est-à-dire le système périphérique.

4.6.3 Comparaisons entre des hauteurs identiques ou différe

Dans une série d'expériences réalisées par Deutsh (1970), la hauteur de deux sons présentés successivement doit être jugée similaire ou différente. Les stimuli sont présentés sans distracteurs, puis une suite de six sons choisis dans le même octave que les sons cibles sont intercalés dans l'intervalle cinq secondes les séparant. Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'interférence entre les deux sons cibles et les chiffres oraux (97,7% de réponses correctes). Ce résultat reste valable lorsqu'il est demandé aux sujets d'être attentifs à la liste des chiffres et de les restituer en fin d'expérience (94,4%). En revanche, les performances les plus faibles (67,7%) ont lieu lorsque les six sons interférés proviennent de la même région de sons cibles. Le même type de résultat a été observé par Semal et Demany (1991), quelle que soit la différence de timbre entre les deux sons cibles. Il apparaît deux processus de mémorisation : la mémorisation des chiffres, liée à un codage verbal, et la mémorisation du premier son comparé au deuxième son, purement acoustique, qui n'entrave pas leur comparaison. De même, Krumhansl (1979) réalise des expériences consistant à juger des paires de timbres identiques ou différents selon leur hauteur en présence de distrateurs de la même gamme tonale ou non (montrant) que l'effet d'interférence est plus important lorsque les interférences sont compatibles avec la tonalité des sons à juger. Il apparaît donc qu'une note isolée dépend du contexte tonal, ce qui souligne l'existence d'une connaissance auditive à long terme du système tonal.

4.7 Paradigme spécifique à une évaluation global immédiate

4.7.1 Paradigmes de Moray (1959) et de Glucksberg et Cowan (1

Dans une expérience conçue par Moray, deux messages vocaux différents sont diffusés travers un casque vers chacune des deux oreilles du sujet (écoute dichotique). Il est demandé aux sujets d'être attentifs uniquement à une voie. Après un bref délai, l'information diffusée sur l'autre voie n'est pas retenue. Cependant, si l'expérience est interrompue brutalement, la personne commute et reconnaît l'information située dans une autre partie du stockage sensoriel. De même, dans l'expérience de Glucksberg et Cowan, les sujets répètent en continu un flot de parole diffusé dans l'une des oreilles. Simultanément, un autre flot de paroles est diffusé dans l'autre oreille. Le sujet a pour instruction d'ignorer ce dernier. Par moments, on présente sur cette même oreille. De manière aléatoire, une lampe s'allume et le sujet doit signaler s'il a entendu le signal sonore ou non. Les performances montrent qu'au-delà d'un délai de 5 secondes, le signal sonore est effacé complètement de la mémoire à court

4.7.2 Evaluation globale immédiate et effet de récence

Dans le cadre de notre travail de recherche, les auditeurs ont pour tâche d'évaluer leur impression globale de l'intensité acoustique de sons de quelques dizaines de secondes. Les sujets produisent cette évaluation immédiatement après la présentation du son dans deux conditions. Dans la première condition (1), le sujet évalue en continu et globalement l'intensité acoustique des signaux. Cette condition correspond à une écoute attentive en continu étant donné que l'auditeur doit évaluer en continu l'intensité acoustique perçue. Dans la deuxième condition (2), le sujet donnera uniquement un jugement global immédiatement à la fin du son. Les données de la littérature montrent que dans le cas d'un rappel sériel d'items, il apparaît un effet de récence. Cet effet est caractéristique de la modalité auditive. Ces données nous conduisent à poser l'hypothèse selon laquelle dans une tâche de jugement global immédiat, le même type d'effet de récence peut être mis en jeu. Des stimuli d'intensité identique, mais dont la répartition temporelle de l'énergie varie d'un stimulus à l'autre, permettront de vérifier cette hypothèse. Mais le but ici est de déterminer une procédure expérimentale (3) qui permettra de révéler un résultat caractéristique d'un effet de récence dans le jugement global, quel que soit le type de signaux utilisés. Ainsi, il sera possible de comparer les

résultats obtenus dans la condition de contrôle (3) avec ceux obtenus sur les même signaux en utilisant des procédures standard d'évaluation telle que les procédures 1 et 2. La procédure 3 serait donc une procédure de référence pour stratégie de r de jugement est liée ou non à un effet de récence. Par exemple, si les jugements obtenus dans les conditions 1 et 2 sont similaires à ceux obtenus avec la proc de conclure que l'impression globale est fortement liée en partie à un effet de récence. Dans le cas contraire, une autre stratégie devra être envisagée.

4.7.3 Proposition d'un paradigme de test

Afin de définir une procédure spécifique permettant de restituer le contenu de la mémoire à court terme d'un son (effet de récence), les paradigmes de Moray et de Glucksberg ont repris et adaptés dans une nouvelle procédure expérimentale (3). De manière similaire, pendant que le son est diffusé, les sujets ont pour instruction de focaliser leur attention sur une autre stimulation correspondant à une tâche visuelle. Cette procédure reproduit donc celle des auteurs précités en utilisant deux modalités sensorielles différentes : visuelle et auditive. Dans la tâche visuelle, il est demandé au sujet de restituer instantanément des séries de combinaisons aléatoires de trois chiffres présentées en continu sur un écran de contrôle pendant toute la durée du son. La procédure exacte sera détaillée dans la partie expérimentale. Le sujet est concentré sur la tâche visuelle, puis elle est interrompue brutalement à la fin du son. Le sujet est alors invité à évaluer son impression globale de l'intensité acoustique. Le sujet commute son attention sur les derniers événements acoustiques contenus en mémoire à court terme. Au regard des résultats des expériences de Moray et de Glucksberg, on peut émettre l'hypothèse selon laquelle le jugement global sera dépendant du parasite de la mémoire à court terme. Cette troisième condition (3) sera comparée avec les deux premières (1 et 2). Si les résultats s'avèrent similaires, à l'appui de l'hypothèse sous-jacente de la troisième condition, on pourra conclure à une stratégie de jugement à court terme, traduisant un effet de récence.

4.8 Conclusion

Les travaux effectués dans le domaine de la mémoire en audition ont été réalisés principalement dans des situations de restitution et de reconnaissance. Les résultats ont permis de mettre en évidence des processus spécifiques de la mémoire auditive : l'effet de récence et l'effet de suffixe. Cependant aucune expérience concernant l'évaluation de séquences sonores n'a tenu compte de ces effets dans l'interprétation donnée en même

dans l'élaboration de la procédure à l'expérimentation, de l'étude réalisée par Springer et al. (1997). Dans leur expérience, les événements de niveaux importants sont concentrés, selon trois distributions respectivement au début, au milieu et à la fin d'une séquence de dix minutes de bruit rose. Le bruit rose correspond à une distribution aléatoire d'énergie. Les résultats font apparaître aucune différence significative entre les stimuli pour le jugement, ce qui signifie qu'aucun effet de récence n'a été révélé dans la tâche demandée. Différents facteurs peuvent être invoqués. La méthode analogique/catégorielle utilisée dans l'expérience peut introduire un biais visuel correspondant à la rétention mnémonique des positions du curseur. D'autre part, seulement quatre configurations sont présentées aux sujets. Il est donc possible que les sujets aient détecté la structure temporelle dans la partie expérimentale, nous essaierons à notre tour d'examiner s'il existe ou non un effet de récence caractéristique dans une tâche de jugement de la sonie. Dans ce but, les caractéristiques des stimuli seront contrôlées par synthèse, puis nous étudierons des sons naturels. Nous procéderons en comparant les résultats obtenus dans les deux expérimentales comme nous l'avons décrit au paragraphe 4.7. Nous utiliserons de nouveau la méthode de jugement analogique/catégorielle présentée au chapitre 3 (§3.2.3), afin de reproduire dans une certaine mesure les conditions de l'expérience réalisée par Springer. Ainsi, il sera possible de comparer les résultats avec ceux que nous obtiendrons en utilisant une autre méthode d'évaluation. Quoiqu'il en soit tout au long des expériences menées, nous essaierons de comparer et d'analyser nos données en fonction des connaissances concernant les processus de la mémoire.

5 Dispositif proprioceptif et so application à l'évaluation de [16]

De nombreuses expériences ont permis de confirmer la validité de la méthode par appariement inter-modal en montrant qu'il est possible d'évaluer l'intensité d'une sensorielle par l'intermédiaire d'une autre. J.C. Stevens et ses collaborateurs (1960) ont largement généralisé l'application de cette méthode à divers stimuli. Ils ont confirmé les caractéristiques des fonctions psychophysiques des différents stimuli par l'utilisation d'une procédure consistant à apparier l'intensité perçue d'une force musculaire avec l'intensité perçue d'un stimulus évoluant selon un continuum physique. D'autres expériences ont confirmé ces résultats (Stevens, 1965). La procédure liée à la méthode présente peu de contraintes et de biais expérimentaux, contrairement aux méthodes d'estimation de grandeurs ou de rapports (S.S. Stevens, 1956; J.C. Stevens, 1958; S.S. Stevens, 1959). De plus, en fonction de la nature des stimuli appariés, la procédure est apparue plus simple d'utilisation comparée aux échelles d'estimation numérique (Stevens, 1969). Les différents avantages de la méthode nous ont donc conforté dans l'idée de l'adapter à une procédure spécifique d'estimation unidimensionnelle en continue sons non stationnaires. La mise en œuvre de la procédure a nécessité le développement d'un nouveau dispositif et tout d'effort devant satisfaire différentes contraintes d'utilisation dans une tâche de jugement en temps réel. Il s'agira d'évaluer la fonction liée à la sensation proprioceptive dépendant de la force musculaire appliquée au dispositif, de définir d'un point de vue psychophysique les caractéristiques du dispositif. Une fois la fonction de cette fonction devrait nous permettre de déterminer directement, en utilisant une procédure par appariement inter-modale, les fonctions spécifiques à d'autres stimuli évoluant selon des paramètres continus. Cette hypothèse sera à vérifier pour ce qui concerne la fonction de la sonde d'un son pur stationnaire de 1 kHz. A partir de l'examen

[16] Ce chapitre correspond l article°: "Psychophysical validation of a proprioceptive device by cross-modal matching of loudness" Susini, P., McAdams, S., para tre dans ACUSTICA - acta-acustica.

desrésultatsnousdiscuterons de l'utilisation de la procédure pour d'autres applications acoustiques.

5.1 Introduction

En ce qui concerne les sons de quelques secondes ou considérés comme stationnaires, des procédures traditionnelles d'évaluation subjective ou de mesure physique sont utilisées (Gescheider, 1976; Baird, 1997; Zwicker, Fastl, 1990). Elles permettent d'obtenir des résultats fiables et robustes. Plusieurs expériences ont été menées afin d'évaluer entre autres l'échelle sonie, d'un son pur de fréquence 1000 Hz, en utilisant les méthodes d'estimation directe introduites dans les années cinquante (Stevens, 1955; Stevens, 1957; Robinson, 1953; Hellman, Zwislocki, 1963, 1964, 1968). Les plus connues sont les méthodes d'estimation de production de grandeurs. Sur cette échelle, un son de huit sones est perçu deux fois plus fort qu'un son de quatre sones, et l'écart mesuré en décibels entre les deux sons correspond à 10 dB. Une douzaine d'expériences réalisées à partir des méthodes d'évaluation directe aboutissent à la loi de puissance (Stevens, 1957). La loi traduit le fait que des rapports perçus équivalents sont produits par des rapports équivalents entre les stimuli physiques correspondants. La fonction psychophysique exprimant la sensation d'intensité acoustique en fonction de l'intensité physique d'un son pur de 3 kHz, correspond à une fonction de puissance dont l'exposant a p

La fonction de puissance semble s'appliquer à l'ensemble des stimuli dont les variations produisent des changements continus de l'intensité pour des valeurs au moins pas trop proches du seuil de perception pour lequel certains ajustements sont nécessaires. Le problème des méthodes d'estimation de grandeurs et de rapports réside dans le fait qu'elle repose sur l'habileté du sujet à détecter et à transmettre les bons rapports numériques pour traduire ses sensations. Par ailleurs, la méthode de puissance d'estimation numérique (Ekman, Sjöberg, 1965) soulève certaines questions quant à sa validité, ce qui a poussé J.C. Stevens et S.S. Stevens à mettre au point une nouvelle procédure de mesure subjective impliquant l'utilisation de valeurs numériques. La méthode proposée est la méthode par appariement inter-modal (voir §2.7). Plusieurs expériences utilisant la méthode par appariement inter-modal ont permis alors de confirmer la loi de puissance (Stevens, 1959; Stevens, Mack, Stevens, 1960; Stevens, 1965). La tâche consiste à égaliser deux sensations provenant de deux modalités différentes. Les résultats donnent une relation entre les fonctions de chacune des deux modalités. La représentation log-log correspond à une pente ayant pour valeur le rapport des exposants des fonctions de puissance des deux modalités sensorielles. Cette

relation confirme donc la loi de Stevens. Cependant, indirectement et de la procédure la fonction absolue de chacune des deux modalités. En revanche si la fonction d'une modalité sensorielle est caractérisée auparavant par une autre méthode d'estimation directe, il est alors possible d'apparier et ainsi de déterminer les fonctions d'autres stimuli.

L'utilisation de la méthode par appariement inter-modal avec un dispositif proprioceptif[17] adéquat à retour d'effort présente trois avantages principaux. Tout d'abord, comme le souligne Stevens (1959), sur la base de la connaissance de la fonction d'une modalité sensorielle, il est possible d'obtenir directement les fonctions psychophysiques d'autres modalités sensorielles par une procédure d'appariement inter-modal : l'intensité de la première est ajustée de façon à être perçue équivalente à l'intensité des autres. Il semble alors envisageable d'appliquer la procédure par appariement inter-modal pour définir la fonction psychophysique de plusieurs attributs auditifs (sonie, brillance, rugosité). Deuxième point : les méthodes d'estimation directe nécessitent la mise au point d'une procédure expérimentale fiable afin d'éviter divers facteurs de variabilité (Hellman, Zwislocki, 1961; Stevens, 1958; Stevens, 1957; Stevens, Guirao, 1964; Stevens, Poulton, 1956). Dans la procédure par appariement inter-modal, la variabilité est minimisée en déterminant pour chaque sujet une fonction d'appariement individuelle, il est nécessaire de concevoir pour être calibré individuellement en fonction de différents facteurs. Ces facteurs peuvent être l'échelle sensorielle individuelle et le processus individuel d'appariement de deux modalités sensorielles. Troisièmement, l'aspect intuitif implicite de cette procédure d'évaluation, par comparaison avec les méthodes d'estimation de grandeurs ou d'estimation de rapports, suggère son application dans des procédures nécessitant un jugement rapide. Par exemple, dans le cas de jugements en continu de sons non stationnaires, il est une méthode qui permet au sujet de transmettre ses jugements facilement en continu. De plus, il serait intéressant que cette méthode puisse fournir au sujet une information continue sur son évaluation par une sensation provoquée par un retour d'effort.

Le but des expériences que nous avons réalisées et qui sont exposées dans ce chapitre est d'examiner les fonctions psychophysiques obtenues dans une procédure utilisant la méthode par appariement inter-modal avec un dispositif proprioceptif développé à cet effet. Nous nous sommes limités dans ce chapitre à la sonie

[17] "Proprioception" littéralement signifie "perception de soi". Ce terme est utilisé dans le domaine de la psychologie expérimentale pour faire référence à la perception de l'organisme associée à sa position, sa posture, son équilibre ou encore des conditions internes. Nous l'utilisons ici en terme générique correspondant à une combinaison d'effets associés à la tension musculaire, aux articulations et à la position lors d'une action exercée sur le dispositif.

d'un son pur stationnaire de fréquence 1000 Hz, afin de comparer nos résultats avec nos - abondants - de la littérature et de valider notre dispositif avec la méthode par appariement inter-modal. Cette technique sera appliquée ensuite aux sons non stationnaires et comparée avec une autre procédure (voir chapitre 6). Le dispositif développé ainsi que ses caractéristiques sont présentés au paragraphe 5.2. Dans une première série d'expériences, nous évaluons l'échelle de sonie par les méthodes de production de rapports et de grandeurs ainsi que par la méthode d'estimation de grandeurs. Pour obtenir une plus grande précision, nous avons utilisé dix méthodes afin d'éliminer le biais apporté par chacune d'elle. De même, nous avons répété les tests avec des niveaux et des valeurs différents pour la façon de référence, influence sur l'évaluation produite (§5.3). Puis nous déterminerons la fonction psychophysique à la sensation musculaire avec la méthode de production de rapports d'une part, et avec la méthode d'estimation de grandeurs d'autre part (§5.4). Les fonctions seront déterminées dans les deux manipulations du dispositif : en mode ascendant et en mode descendant, ce qui correspond respectivement à une augmentation et à une atténuation de la force appliquée au dispositif. Le but est de trouver par une méthode directe, une relation entre la sensation musculaire et la grandeur physique de la force appliquée au dispositif. En d'autres termes, l'objectif est de déterminer l'échelle des rapports de la force apparente exercée par un su[illegible]. Enfin, la fonction d'appariement des deux modalités sera évaluée dans les deux sens de manipulation du dispositif (§5.5). Elle sera comparée avec les fonctions obtenues par des méthodes indépendantes.

5.2 Description technique du dispositif proprioc

5.2.1 Résistance par effet de poids : schéma du dispositif

Afin de pouvoir évaluer la sensation auditive par une autre sensation qui dépende d'une tension musculaire, un système doit être élaboré. Ce système doit agir sur la sensibilité des muscles, os, ligaments et articulations, et renseigner sur l'équilibre et la position des membres du corps dans l'espace. L'information et la sensibilité transmises dépendent du type d'effort et de mouvement provoqués par le système. Aussi est-il important de préciser dans le choix du dispositif, en dehors de ses caractéristiques techniques, quel type d'effort est impliqué dans la tâche lors de l'expérience. Autrement dit, en fonction du dispositif choisi, le sujet doit savoir à quelle catégorie il est tel correspond l'effort musculaire demandé. La représentation de l'effort

musculaire à fournir est différente selon le type de Stevens, 1959). Par exemple, l'écarteur est différent de l'effectuer une pression sur une corde de guitare ou bien que l'on manipule un manche de pioche ou le levier de stabilisation d'un avion. Le schéma du dispositif développé pour nos expériences est représenté par la figure 5.1. Nous n'avons pas procédé à une étude approfondie des caractéristiques ergonomiques souhaitées pour un dispositif d'évaluation en fonction du matériau testé. Néanmoins, nous avons tenu compte de cet aspect pour faire notre choix et notre étude a pour finalité immédiate l'utilisation de ce dispositif pour estimer la sonie des sons de voiture en phase d'accélération.

Avec ce système, le sujet a une information sur l'évaluation réalisée par l'avant-bras et de l'épaule. Le levier exerce, en fonction de l'angle de déplacement, une résistance dont l'effet est de sensation proprioceptive. Ainsi, le sujet associe une sensation résultante de la combinaison de la force musculaire et du mouvement exercé, à toute variation auditive perçue en déplaçant le levier du "joystick" dans le sens de sa sensation auditive.

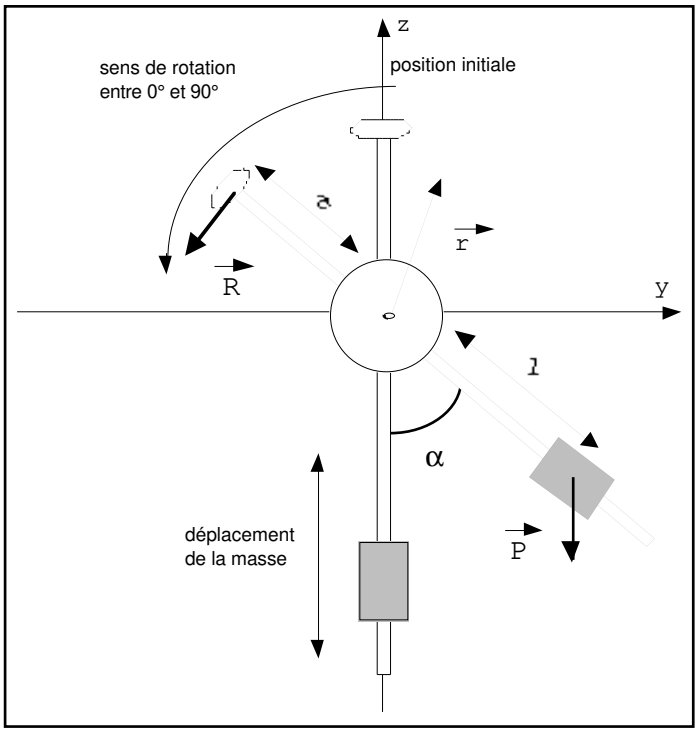

Figure 5.1°: Dispositif m canique permettant de mesurer la force exerc e sur le levier

Par exemple, une sensation auditive dont l'intensité est perçue deux fois plus grande, le sujet associe une sensation musculaire double. Ainsi, le résultat ne dépend pas de la capacité d'un sujet à produire une amplitude numérique correspondant à sa sensation, tâche qui nécessite de la part du sujet de faire référence à une échelle élaborée mentalement. La tâche par appariement quant à elle nécessite d'associer l'intensité acoustique en lui associant une force musculaire perçue équivalente, et d'autre part[18]. Les données obtenues nous permettent d'établir une relation mathématique entre la force musculaire et la pression acoustique exprimée en dB SPL.

Un potentiomètre 10kΩ linéaire est monté sur l'axe de rotation de sorte que la position du levier corresponde à une valeur du potentiomètre. Il est configuré en pont diviseur. La tension de sortie est une fonction linéaire de l'angle du levier. La tension électrique est ensuite convertie en format MIDI et transmise au programme gérant l'expérience.

5.2.2 Equation du système

Les paramètres associés au dispositif sont: la masse "m", la distance "l" de la masse par rapport à l'axe de rotation (ox), la distance "a" de la poignée jusqu'à l'axe de rotation (ox) et l'angle α entre la tige et l'axe vertical (oz). Dans les procédures expérimentales envisagées, le système masse-tige-sujet effectue un mouvement de rotation quasi-stationnaire à chaque instant t. La somme des moments des forces appliquées au système est donc nulle. Le module de la force en fonction de l'angle est donné par la formule suivante :

$$\|R\| = \frac{mgl}{a}\sin\alpha \qquad (5.1)$$

La force R est tangente au mouvement induit par le déplacement du sujet dans la direction du levier. La force P correspond à la masse.

5.3 Détermination expérimentale de l'échelle de

L'objectif ici est de déterminer l'échelle de sonie de 1000 Hz en utilisant trois méthodes d'estimation directe: méthode de production de rapports (expérience 1), méthode de production de grandeurs (expérience 2) et estimation de grandeurs (expérience 3).

[18] Stevens disait tout justement: "We need only assume that the observer can adjust one stimulus to make it appear as strong as another. No other postulate is needed". (p. 7, 1965)

5.3.1 Sujets

Un groupe de dix sujets (8 hommes et 2 femmes) âgés de 25 et 30 ans a participé à l'ensemble des expériences (1, 2, 3, 4, 5, 6). Dix sujets supplémentaires (5 hommes et 5 femmes, âgés de 25 à 29 ans) ont participé seulement à l'expérience d'estimation de grandeur de la sensation musculaire (expérience 5) et à la procédure d'appariement inter-modale (expérience 6). Deux des sujets étaient expérimentés dans les tests psychoacoustiques tandis que les autres n'avaient aucune expérience de ce type de tests. Chaque sujet disposait d'une séance d'apprentissage pour se familiariser avec la tâche à effectuer. Aucun sujet n'a rapporté avoir une déficience auditive. De nombreuses études montrent que dix sujets est un nombre suffisant pour obtenir des résultats sta

5.3.2 Appareillage et production des stimuli

Dans chacune des expériences, les stimuli utilisés sont des sons stationnaires de 1000 Hz, échantillonnés à 44.1 kHz sur 16 bits, générés par une Station de Travail Ircam (Lindemann, Puckette, Viara, De Cecco, Dechelle, Smith, 1991) comprenant une station NeXT équipée d'une carte ISPW et du logiciel Max . Les sons sont convertis par les convertisseurs DACs ProPort intégrés, les filtres anti-repliement sont amplifiés par un amplificateur Crown avant d'être diffusés en écoute diotique (même signal aux deux oreilles) à travers un casque audio Sennheiser HD 410 placé dans une cabine audiométrique à double paroi Soluna S1. Chacune des expériences commence par un son pur de 1000 Hz présenté aux deux écouteurs du casque audio avec un niveau de 75 dB SPL. Le niveau d'étalonnage est mesuré avec un sonomètre Brüel & Kjaer de type 2209. Le déroulement de chaque expérience (diffusion des stimuli, enregistrement des données et l'interface graphique) est géré par le logiciel PsiExp v2.

Pour les expériences (respectivement production de rapports et de grandeurs), deux sons purs de 1000 Hz avec des temps de montée et de descente linéaires de 40 ms sont diffusés successivement avec la même intensité. Les deux sons sont séparés par 1 seconde. Le premier est le son de référence, le deuxième est celui dont le niveau acoustique peut être modifié à l'aide d'un curseur visualisé sur l'écran de contrôle. La séquence ainsi formée, son de référence-silence-son variable, est répétée toutes les 2 secondes jusqu'à ce que le sujet soit satisfait par l'ajustement qu'il a produit. Dans l'expérience 3 (estimation de grandeur), la présentation des stimuli est similaire à celle décrite précédemment mais le niveau acoustique du son de référence est fixé au premier essai et ne peut être modifié.

5.3.3 Expérience 1 : méthode de production de rapports

5.3.3.1 Procédure

Il est demandé au sujet de modifier le niveau acoustique du deuxième son de telle façon qu'il soit perçu deux fois plus fort que le son de référence. Au début de l'expérience, les deux sons ont le même niveau acoustique (40 dB SPL). Puis le sujet ajuste le niveau du deuxième son par l'intermédiaire d'un curseur sur son écran de contrôle. Lorsque le sujet est satisfait par l'ajustement produit, il appuie sur la touche "V" du clavier. Le niveau acoustique de cette référence dans l'essai suivant correspond au dernier ajustement réalisé. La procédure s'arrête lorsque le sujet a effectué six ajustements ou bien lorsque le niveau dépasse 80 dB SPL. Pour chacun des ajustements, le niveau physiqu est mesuré.

5.3.3.2 Résultats

Pour construire l'échelle de sonie, les rapports ont été convertis en sones en attribuant la valeur de 1 sone au son pur de 1000 Hz à un niveau de 40 dB SPL présenté au début de chaque série. Au son qui est jugé deux fois plus fort, correspond la valeur de 2 sones, au double du double une valeur de 4 sones et ainsi de suite. Les données sur une échelle log-log, sont représentées individuellement par une droite sur laquelle les six valeurs sont quasiment alignées. La valeur de la pente varie entre 0,40 et 0,70 sur l'ensemble des sujets. La moyenne calculée sur l'ensemble des pentes individuelles correspond à une droite dont la valeur de la pente est 0,55 avec un écar

5.3.4 Expérience 2 : méthode de production de grandeurs

5.3.4.1 Procédure

Au début de l'expérience les deux sons ont la même intensité acoustique à laquelle est associée la valeur numérique 10. Ensuite, le sujet ajuste au deuxième son le niveau auquel l'intensité perçue soit proportionnelle à la valeur numérique affichée sur l'écran de contrôle. Par exemple, si la valeur affichée est 5, le niveau du deuxième son sera ajusté jusqu'à être perçu deux fois moins fort que le premier. Par la suite, le s satisfait par l'ajustement en appuyant sur la touche "V" du clavier. Le niveau des deux sons est ré-initialisé au niveau de départ. Les valeurs numériques choisies sont 5, 7.5, 20, 30, 35 et 40. Elles sont présentées dans un ordre aléatoire pour chaque sujet. Les niveaux acoustiques et les valeurs numériques correspondantes sont

enregistrés pour chaque ajustement. Afin d'évaluer l'influence du niveau du son de référence sur les réponses des sujets, différentes valeurs de 50 et 70 dB SPL utilisées. Pour chacune des références, la procédure expérimentale est répétée.

5.3.4.2 Résultats

Pour chacune des valeurs numériques proposées, les dix auditeurs ont ajusté le niveau acoustique du deuxième son en le comparant au son de référence. Une moyenne est calculée sur l'ensemble des mesures correspondant à chacune des valeurs numériques. La fonction psychophysique ainsi obtenue va correspondre aux fixées selon la moyenne des pressions acoustiques ajustées par les sujets. Les résultats indiquent de nouveau que la sonie évolue selon une fonction de puissance de la pression acoustique et que l'exposant augmente avec le niveau du son de référence. Les données obtenues sont représentées pour chaque niveau acoustique de référence, 50, 60 et 70 dB SPL, par une droite dont la valeur de la pente est respectivement 0,4 0,5 et 0,7 (voir figure 5.2). L'intervalle de confiance à 95% sur la pente de la droite de régression a été déterminée pour chaque série. Cet intervalle contient la pente proposée par Hellman et Zwislocki (1963) uniquement pour la référence de 60 dB. Il ne contient ni la pente de Hellman et Zwislocki, ni celle de Stevens (1955) dans les autres séries. Par contre, la moyenne de ces valeurs donne une fonction de puissance d'exposant 0,55 0,1 ce qui s'approche de la moyenne à travers plusieurs études trouvée par Hellman et Zwislocki (1963).

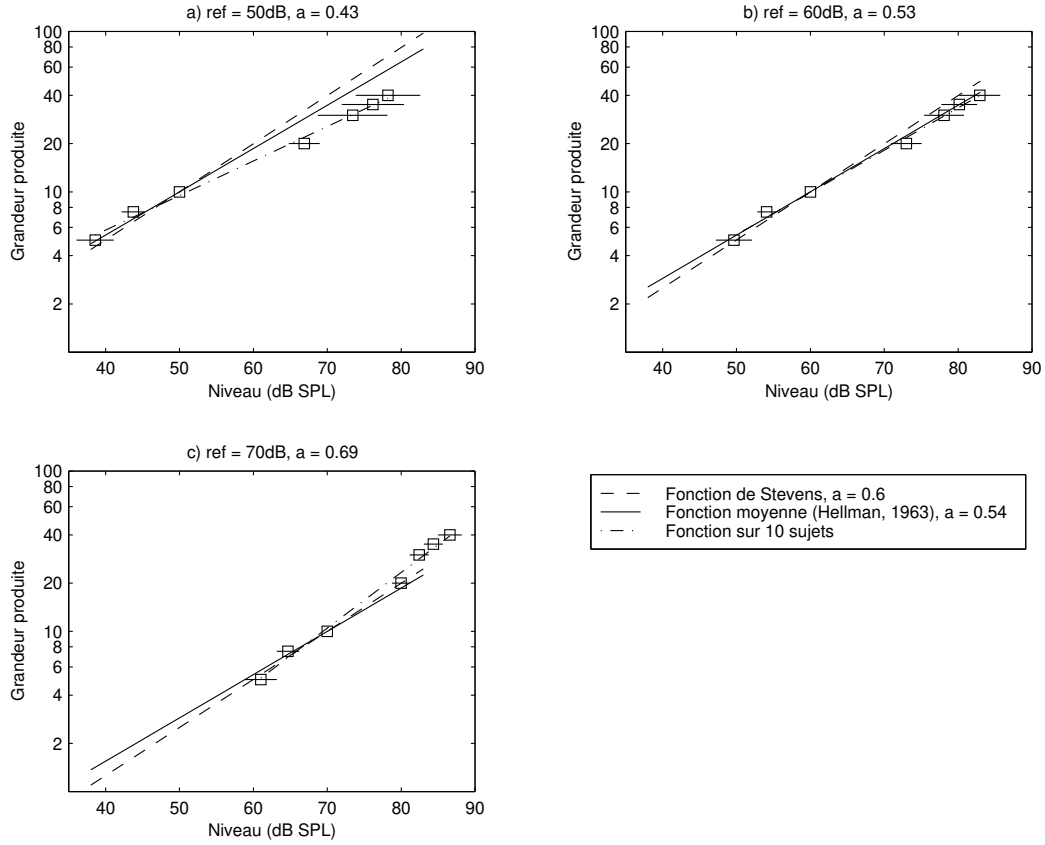

Figure 5.2˚: Fonction de sonie obtenue avec un son pur de 1000˚Hz par la méthode de production de grandeurs pour différents niveaux de référence˚: a - 50 dB SPL —b - 60 dB SPL et —c - 70 dB SPL. A chaque niveau de référence est associée la grandeur numérique 10.

5.3.5 Expérience 3 : méthode d'estimation de grandeurs

5.3.5.1 Procédure

De nouveau, les sons sont diffusés par paires. Le premier est toujours le son de référence auquel est attribuée la valeur numérique 10. Le deuxième est diffusé à des niveaux acoustiques différents choisis parmi 30, 35, 45, 55, 65, 70, 80, 85 et 90 dB SPL. L'ordre de présentation est aléatoire d'un sujet à l'autre. Le sujet entre, par l'intermédiaire du clavier, la valeur numérique qui lui semble proportionnelle à l'intensité perçue du son, de telle sorte que le rapport entre les nombres corresponde au rapport des sonies. Par exemple, si le deuxième apparaît deux fois plus fort que le premier, la valeur 20 devrait lui être attribuée. Une fois la valeur est entrée, la paire suivante est présentée, et ainsi de suite jusqu'à la fin de l'essai. Pour chacune des estimations, le niveau acoustique en dB SPL et la valeur numérique correspondante sont enregistrés. Afin d'évaluer l'influence du niveau de la référence sur les réponses des

sujets, différentes valeurs sont utilisées : 50, 60 et 70 dB SPL. Pour chacune des références, la procédure expérimentale est répétée.

5.3.5.2 Résultats

La représentation des résultats obtenus par cette méthode montre que la sonie est une fonction de puissance de la pression acoustique. Les fonctions psychophysiques ainsi obtenues sont les moyennes des estimations de grandeurs, sur l'ensemble des sujets, fonctions de pressions acoustiques exprimées en dB SPL. Le résultat varie avec le niveau acoustique du son de référence. Les pentes sont 0,35, 0,40 et 0,40 pour les niveaux de référence respectivement 50, 60 et 70 dB SPL. Le calcul d'une valeur moyenne donne un exposant de 0,38 avec un écart type de 0,03.

5.3.6 Discussion

Les fonctions de sonie obtenues par les différentes méthodes dans les expériences 1, 2 et 3 évoluent selon des fonctions de puissance. Ce résultat est aussi bien global qu'individuel. Cependant, les résultats révèlent une grande variabilité individuelle et inter-méthode. Les méthodes de production de rapports de 2 et de grandeurs produisent des résultats similaires : la valeur de l'exposant correspondant est en moyenne 0,55. Comparativement, la méthode d'estimation de grandeur donne une fonction de sonie dont la pente est plus douce. La valeur est 0,38. De manière générale, une revue de la littérature montre que les résultats sont variables selon les différentes options possibles dans la procédure expérimentale. En effet, S. S. Stevens (1956) a mis en évidence divers facteurs pouvant modifier la forme de la fonction de sonie dans une procédure utilisant une méthode d'estimation de grandeurs. Par exemple, la présence d'une référence a pour effet de la pente de la fonction de sonie. Cet effet varie avec le nombre de niveaux de référence et le nombre de stimuli présentés autour de la référence. D'autres travaux confirment ce résultat (Hellman, Zwislocki, 1963, 1964, 1968, 1961). De plus, les résultats obtenus par estimation de grandeurs sous-estiment en général la fonction de sonie, comme nous l'avons observé dans nos résultats.

D'autre part, une fonction de sonie stable a été obtenue pour un son pur de 1000 Hz à partir de différents travaux : Robinson (1953) et Stevens (1956) par la méthode d'estimation, Scharf et Stevens (1961) par la méthode de production de rapport par la méthode d'estimation, Fenlt, Kellerwicker et Port (1959) par la méthode de production de rapport de deux, et Hellman et Zwislocki (1963) par les méthodes d'estimation et de production d'amplitudes. La moyenne des données détermine une

fonction de puissance d'exposant 0,54 au dessus de 30 dB SPL. Ce résultat concorde avec celui que nous avons obtenu avec la méthode de production de rapports de deux et la méthode de production de grandeurs. C'est celui que nous retiendrons dans la suite de notre travail.

5.4 Echelle de sensation proprioceptive

Le but est de déterminer l'échelle de sensation proprioceptive. Deux méthodes sont utilisées : méthode de production de rapports (expérience 4) et méthode d'estimation de grandeur (expérience 5)

5.4.1 Expérience 4: méthode de production de rapports

5.4.1.1 Procédure

A la position initiale, le levier du dispositif proprioceptif est à 90° par rapport au plan horizontal figure 5.3. Il est manipulé avec la main droite. Lorsque le sujet le décide, il active l'expérience en appuyant un bouton avec la main gauche. Ensuite, il déplace le levier pour l'amener à une position "A" correspondant à la sensation musculaire de référence. Cette position est signalée par un son de faible niveau (40 dB SPL, 400 Hz). La position de référence "A" est déterminée par un angle donné dont la marge d'erreur autour de celui-ci correspond à un angle de 1.6 degrés. La tâche du sujet consiste à déplacer le levier à partir de ce point jusqu'à ce que la sensation musculaire produite soit deux fois plus grande. Lorsque le sujet est satisfait par l'ajustement produit, il enregistre la position "B" correspondante en appuyant sur la touche "V" du clavier. Il est proposé au sujet de vérifier rapidement le rapport A et la position B par un va-et-vient entre les deux, deux fois plus ou moins de son jugement initial. Ensuite, il revient à la position de repos (position initiale) et attend cinq secondes pendant lesquelles l'expérience est désactivée pour éviter des effets de fatigue musculaire. La position "B" devient alors le nouveau point de référence répétée jusqu'à ce que le sujet atteigne la système c'est-à-dire un angle de 0° par rapport au plan horizontal en appuyant sur la touche "L" (limite) du clavier. Les angles correspondant aux positions successives "B" sont enregistrés. Afin d'évaluer l'influence de la position du point de départ, sur les réponses des sujets, différentes valeurs d'angle en degrés sont utilisées : 16°, 40°, 5°, 28° et 5°. Ces positions de nouve de référence correspondent à un effort musculaire en poussée, mode ascen

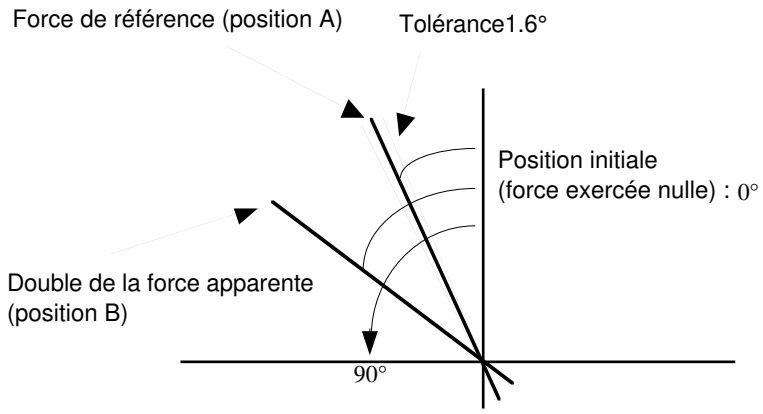

Figure 5.3˚: Schéma de la procédure expérimentale pour l'évaluation de la force musculaire apparente. La position A, signalée par un signal sonore, correspond à la force apparente de référence. La position B est celle correspondant à une force musculaire double par rapport à la référence.

Pour comparer la sensation musculaire en poussée et en retenue (mode descendant) correspondant aux deux mouvements possibles de deux directions différentes, 86° et 67° sont utilisés. A partir de ces références, le sujet exprime par pas de un demi sa sensation musculaire. Pour chacune des références, l'expérience est répétée jusqu'à ce que le sujet atteigne la limite inférieure correspondant à la position de repos. Dans tous les cas, la valeur 1 de force perçue est assignée à la position initiale suivie par les valeurs 2, 4, 8, etc. en mode ascendant, 1/2, 1/4, 1/8, etc. pour les va en mode descendant.

5.4.1.2 Résultats

Les courbes sont obtenues à partir des données perceptives correspondant aux rapports de sensation proprioceptive en fonction des données physiques enregistrées (déplacement angulaire ou la force correspondante qui est entièrement déterminée par la masse et la distance entre la masse et l'axe de rotation). Représentées en échelle log-log, sept fonctions linéaires individuelles relatives aux positions initiales sont bien représentées par des fonctions de puissance. Généralement, la valeur de l'exposant est supérieure à 1, ce qui signifie que la sensation proprioceptive suit une fonction accélérée positivement suivant l'information physique. Cette valeur augmente pour certains sujets avec l'angle de la position initiale. De plus, en moyenne, les pentes des fonctions proprioceptives en mode ascendant et descendant sont légèrement différentes. La fonction psychophysique de la sensation proprioceptive en fonction de la force (en Newtons) correspond à une fonction de puissance 2,13 (écart-type 0,7) est en mode ascendant et 1,50 (écart-type 0.5) en mode descendant. Dans les deux cas, la

fonction est obtenue soit en doublant soit en diminuant de moitié le rapport entre deux forces apparentes. Chacune des procédures engendre un biais expérimental d'amplitude similaire et de signe opposé. Afin d'éliminer ce biais, la moyenne des deux valeurs a été considérée. La fonction proprioceptive correspond finalement à une fonction de puissance avec un exposant ayant pour valeur 1,81.

5.4.2 Expérience 5 : méthode d'estimation de grandeur

5.4.2.1 Procédure

Il est demandé aux sujets d'évaluer directement sur une échelle numérique la sensation évoquée par une force donnée en associant une valeur numérique proportionnelle à la sensation proprioceptive. Huit positions différentes du levier, et donc huit forces, sont indiquées aux sujets successivement par un faible signal sonore (400 Hz). Dans une première partie, dix sujets procèdent dans le mode ascendant en poussant, depuis la position de repos (angle de 0°) jusqu'à la position indiquée par le signal sonore. Puis dans la deuxième partie, les mêmes sujets procèdent cette fois en mode descendant, c'est-à-dire à partir de la position maximale (90°) et retiennent le levier jusqu'à la position indiquée. Pour chacune des positions dans les deux sens de manipulation du dispositif (mode ascendant et mode descendant), les sujets entrent à l'aide du clavier de l'écran de contrôle une valeur numérique proportionnelle à leur estimation. Pour chaque sujet, les positions prédéterminées sont indiquées dans un ordre aléatoire. Les dix autres sujets ont participé aux deux parties dans un ordre inverse.

5.4.2.2 Résultats

La figure 5.4 présente la moyenne des estimations obtenues chez les sujets pour l'ensemble. De nouveau, la pente 1,67 obtenue en mode descendant est plus petite que celle 1,8 obtenue en mode ascendant. Cependant, cette différence entre les deux est moins importante que celle qui a été obtenue par la méthode de production de rapports. La fonction proprioceptive résultant de la méthode d'estimation de grandeur correspond donc à une fonction de puissance avec un exposant ayant une valeur moyenne de 1,74. Notons que dix des sujets avaient participé à la procédure utilisant la méthode de production de rapports (Expérience 4), quinze mois auparavant. Etant donné le délai entre les deux expériences, on ne peut considérer qu'ils aient acquis une expertise qui influencerait leurs résultats dans la présente procédure.

On peut noter par ailleurs qu'il apparaît une légère déviation par rapport à une fonction linéaire en ce qui concerne la fonction obtenue en mode ascendant (vo

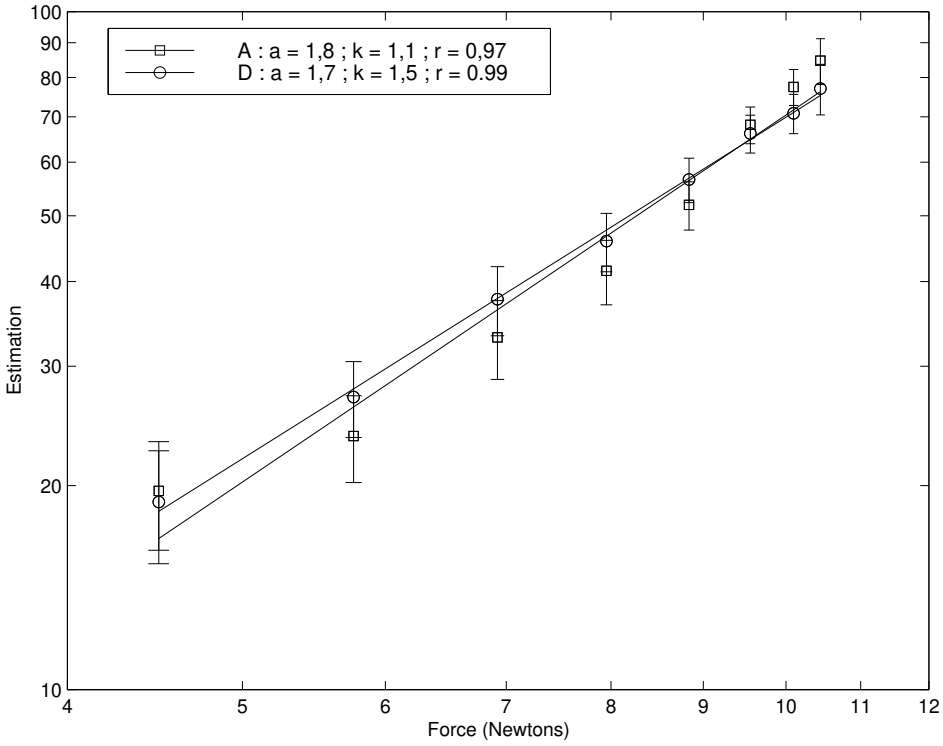

Figure 5.4˚: Estimation de grandeurs de la sensation proprioceptive en fonction de l'intensité de la force obtenue en mode ascendant (carrés) et en mode descendant (cercles). Les barres verticales représentent les écarts-types. Les variables a et k correspondent à celle de la fonction de puissance de la relation 2.5 du chapitre 2, et r est le coefficient de régression des données représentées par une fonction linéaire.

5.4.3 Discussion

Le résultat espéré, au regard de ceux de la littérature (Harper, Stevens, 1948; Stevens, 1959; Stevens & Mack, 1959), est une fonction de puissance d'exposant supérieur à 1. S.S. Stevens a mesuré la force musculaire apparente exercée par un sujet sur la poignée d'un dynamomètre en utilisant différentes méthodes de jugement direct. La fonction obtenue est une fonction de puissance d'exposant 1,7. Dans une autre expérience, une force est appliquée sur la paume de la main du sujet. Les résultats de l'expérience donnent une fonction de puissance d'exposant 1,7. De même, une tâche consistant à déplacer des poids de différentes grandeurs produit une sensation musculaire qui évolue selon une fonction de puissance d'exposant 1,4. La valeur moyenne 1,77 déterminée avec le nouveau dispositif en utilisant la méthode d'estimation de grandeurs est celle de production de rapports est proche de celle obtenue par S.S. Stevens avec son disp

5.5 Expérience 6: Appariement inter-modal

Cette expérience consiste à apparier les deux modalités sensorielles dont les fonctions psychophysiques ont été déterminées précédemment. La fonction d'appariement sera comparée avec les fonctions obtenues de manière indépendante.

5.5.1 Etalonnage individuel du dispositif

Des aspects importants relatifs aux différences interindividuelles impliquent la personnalisation du dispositif: les différences physiologiques (capacité et sensibilité musculaires) et les différences dans les stratégies de réponse liées à la représentation auditive des stimuli. Un étalonnage simple consiste à diffuser des sons stationnaires à diverses valeurs (huit) selon un continuum acoustique étudié, et dont la gamme de variation correspond à celle des stimuli utilisés dans l'expérience principale. Le principe consiste alors à ajuster la limite supérieure de variation du dispositif à la valeur maximale du stimulus physique. En d'autres termes, le dispositif est calibré individuellement pour éviter des effets de saturation sonore des jugements pour la valeur maximale.

La procédure décrite est répétée deux à trois fois pour chaque sujet avec la même gamme de variation des stimuli (40 - 85 dB SPL). Cela ne prend pas plus de cinq minutes pour chaque sujet. Cette phase assure aussi pour chaque sujet une bonne résolution de la gamme des réponses en fonction de la gamme des stimuli. Avec notre dispositif, l'étalonnage individuel est possible en modifiant la masse (paramètre "m") et/ou la position de la masse par rapport à l'axe de rotation (paramètre "l").

5.5.2 Stimuli

Huit sons purs de 1 kHz utilisés. Les niveaux acoustiques choisis sont 40, 45, 55, 60, 65, 70, 80 et 85 dB SPL. La durée des sons est de 1 seconde.

5.5.3 Procédure

Le sujet déclenche lui-même l'expérience en appuyant sur un bouton. Un son de niveau constant est diffusé par alternance toutes les deux secondes. Tout d'abord, en mode ascendant, à partir de la position de repos, le sujet doit déplacer le levier à associer une force d'intensité perçue équivalente à l'intensité acoustique du stimulus

diffusé. Tout en maintenant sa jambe dans la même position, en appuyant sur la touche "V" du clavier. La procédure est répétée pour chaque niveau. Puis dans une deuxième phase, l'expérience est effectuée en mode descendant. Le niveau de chacun des sons et l'angle du levier correspondant sont enregistrés par le programme. Les différents niveaux acoustiques sont présentés dans un ordre aléatoire. Chaque session dure en moyenne trois minutes. Dix sujets commencent par réaliser l'expérience en mode ascendant puis en mode descendant. Dix autres sujets effectuent l'expérience en sens inverse.

5.5.4 Résultats

Pour chacun des ajustements, une mesure du niveau acoustique et de la force est réalisée. La fonction d'appariement obtenue (figure 5.5) représente la force (en Newtons) en fonction du niveau acoustique (en dB SPL). Dans ce domaine, la fonction est une droite dont la valeur de la pente est 0,30 en mode ascendant et 0,28 en mode descendant avec un écart type de 0,08.

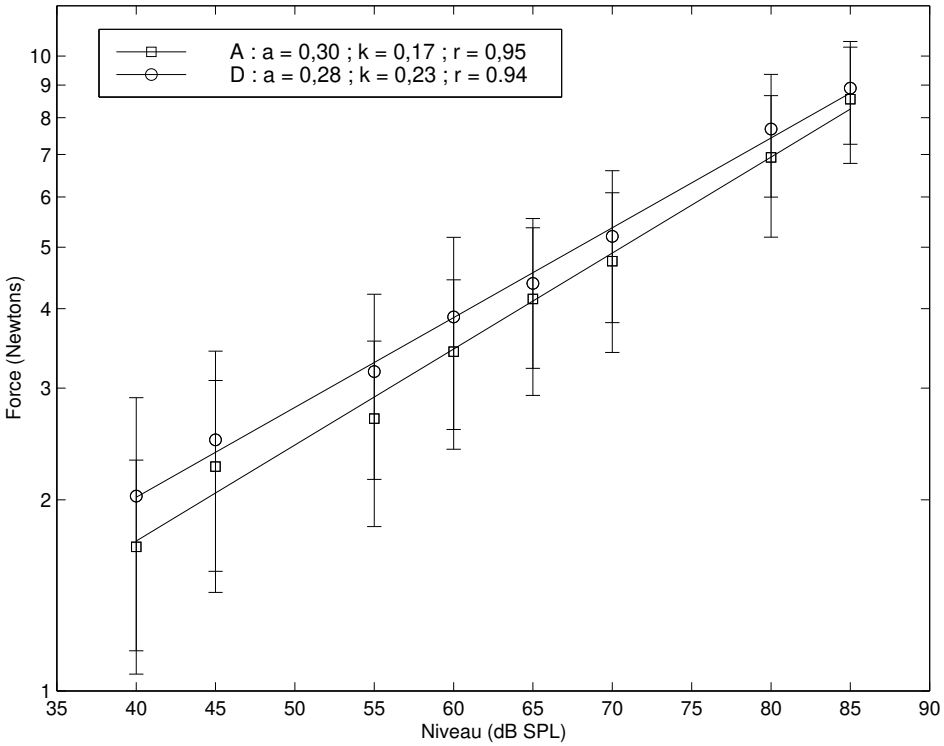

Figure 5.5˚: Fonction psychophysique obtenue par la méthode d'appariement inter-modal de la force à la sonie. Les modes ascendant et descendant sont représentés respectivement par des carrés et des cercles. Les barres verticales représentent les écarts types. Les variables a et k correspondent à celles de la fonction de

puissance de la relation 2.5 du chapitre 2 et r est le coefficient de r gression des donn es repr sent es par une fonction lin aire.

5.5.5 Discussion

Depuis S.S. Stevens, la plupart des modalités sensorielles sont caractéri
de puissance. Différentes expériences ont été réalisées afin d'estimer l'intensité d'une
modalité sensorielle par l'intermédiaire d'une autre modalité. Par exemple, J.C. Stevens
(1960) a mené une expérience dans laquelle l'évolution de sept modalités sensorielles
différentes (décharge électrique, lumière blanche, bruit, vibration, sur le bout du doigt, pression sur la paume, poids soulevé) sont mesurées par
l'intermédiaire d'une sensation musculaire (force exercée sur une poignée reliée à un
dynamomètre). Les valeurs de la force musculaire représentées en fonction des stimuli
physiques des sept modalités sensorielles révèlent droites, en échelle long-log sep
ainsi les lois de puissance obtenues en utilisant des méthodes d'évaluation numérique. De
manière similaire, S.S. Stevens (1965) confirme la loi de puissance en déterminant les
fonctions d'appariement entre la sonie et dix autres continuums physique

Les résultats obtenus dans l'expérience 6 utilisant la méthode par appariement inter-
modal confirment tout d'abord que la sonie et la sensation proprioceptive obéissent à des
lois de puissance. Le rapport des exposants est de deux par rapport à la
fonction d'appariement obtenue en utilisant le nouveau dispositif proprioceptif. D'autre
part, la valeur du rapport (0,29) est similaire au rapport prédit (0,55:1,7=70,31) à
partir des résultats obtenus dans des expériences réalisées de manière indépendante pour
chacune des deux modalités sensorielles. Notons que les coefficients de régression linéaire
pour les fonctions d'appariement inter-modal individuelles varient entre 0,90 et 0,99 en
mode ascendant, et entre 0,87 et 0,99 en mode descendant.

5.6 Discussion générale

A l'aide d'un questionnaire présenté aux sujets en fin de séance pour chacune des
expériences, nous avons cerné le niveau de difficulté de chacune des méthodes.
Dans un premier temps, les méthodes déroutent généralement les sujets, surtout la
méthode par appariement inter-modal. Cependant après quelques (16/20) essais, les
adoptent rapidement cette procédure et l'estiment assez facile comparée aux méthodes
d'estimation numérique. Finalement, les sujets se sentent plus à l'aise et répondent
instinctivement en utilisant le dispositif proprioceptif. Au début, ils procèdent par une
succession de va-et-vient autour d'une valeur moyenne de l'estimation puis, au fur et à

mesure, ils agissent d'un seul mouvement, c'est-à-dire par une progression rapide et directe de la position de repos vers la position correspondant à la force apparente estimée équivalente en intensité à celle de l'intensité acoustique. Certains ont mentionné qu'ils n'avaient 'plus besoin de réfléchir' dès qu'ils n'avaient 'le sentiment' que les deux modalités sensorielles.

De manière générale, l'évaluation de la sensation proprioceptive a été une tâche plus difficile pour les sujets que celle liée à l'évaluation de la sonie. En ce qui concerne l'évaluation de la sensation proprioceptive, la méthode de production de rapports de deux et d'un demi est apparue plus difficile que la méthode d'estimation de grandeurs (ce jugement ne concerne que les dix sujets ayant réalisé les deux tâches). Les sujets actionnent le levier pour atteindre une position indiquée et donne une valeur numérique correspondant à la sensation évoquée. La difficulté de l'estimation réside dans le fait d'établir une échelle numérique associée aux sensations proprioceptives. Dans l'autre cas, les sujets doivent déterminer, par une force, un rapport de deux avec une force de référence. La difficulté est fonction de la capacité du sujet à conserver un rapport de deux sur toute la gamme de variation de la force exercée par le dispos

Une autre difficulté est le mode de présentation de la force de référence qui n'est pas simultanée avec la tâche d'ajustement à accomplir. Le degré d'ajustement correct réalisé par le sujet dépendra alors, d'une part, de la trace mnésique laissée par la sensation associée à la force de référence et, d'autre part, des interférences successives créées par le déplacement du levier à partir de la force de référence. L'interférence créée par la variation continue de la force de référence est à considérer comme un biais expérimental qui détériore la performance des sujets dans leur tâche. De manière similaire, en audition, Deutsch (1970, voir § 4.6.3) a vu l'influence d'une série de six sons présentés entre deux sons-cibles pour les comparer il ét la hauteur tonale. Une dégradation des performances avait été constatée lorsque les sons distracteurs étaient choisis dans le même octave que les sons-cibles. Dans la procédure d'ajustement de la sonie dans un rapport de deux, le son de référence et le son dont l'intensité peut être modifiée, sont présentés alternativement de manière répétée à un intervalle de une seconde. La procédure ainsi présentée permet d'éviter et facilite la tâche des sujets. En effet, en ce qui concerne l'évaluation de la sonie, la méthode de production de rapport de deux est plus appréciée que les mé et de production de grandeurs. De plus la procédure conduit rapidement à des résultats satisfaisants. Il apparaît donc que certaines procédures rendent la tâche plus facile à réaliser, comparées à d'autres procédures. Il faut donc tenir compte, dans le point d'une procédure, du stimulus testé et des possibilités qu'il nous offre;

" Unfortunately, many kinds of stimuli cannot be easily placed under the observer's control " (Stevens, p. 6, 1965).

5.7 Conclusion

Globalement, la sonie évolue selon une fonction de puissance dont l'exposant a une valeur de 0,55. La fonction psychophysique propre à la sensation de notre dispositif est une fonction de puissance avec un exposant de 1,8. Le rapport de 1,3 des deux exposants prédit la valeur de la pente de la fonction d'appariement entre les modalités sensorielles selon la relation décrite au paragraphe 2.7 du chapitre 2. La valeur obtenue directement par la procédure d'appariement inter-modale est de 0,3 en mode ascendant et de 0,28 en mode descendant. Ce résultat, comparé à la valeur prédite, valide l'utilisation du dispositif proprioceptif par la méthode d'appariement inter-modale pour déterminer l'échelle de sonie. En effet, ces résultats montrent qu'il est possible de déterminer l'échelle de sonie d'un son pur de 1000 Hz, linéaire en coordonnées log-log, de l'échelle proprioceptive associée.

Ce dispositif peut être utilisé pour différentes situations de mise en échelle de sensations correspondant à des attributs auditifs différents. Bien qu'il n'est pas pratique d'estimer la sensation par une valeur numérique. La transformation dépendante des fonctions de chacune des deux modalités sensorielles. La fonction de la sensation proprioceptive liée au dispositif étant déterminée (1,8), il est possible de déduire directement, par une tâche d'appariement inter-modale, celle d'un autre attribut auditif. Par exemple, de manière intuitive, il nous apparaît peu évident de l'estimer de la rugosité d'un son, tandis qu'il apparaît plus simple d'associer l'intensité d'une force musculaire perçue comme équivalente, à une valeur donnée de rugosité.

Les résultats obtenus par la méthode par appariement inter-modale sont moins dépendants des conditions expérimentales que ceux fournis par les méthodes d'estimation directe. Les fonctions de sonie déterminées par les méthodes d'estimation de grandeurs et de production de grandeurs sont nettement dépendantes de l'intensité du son de référence. Une expérience d'appariement inter-modale réalisée par Bond (1969) donne des résultats identiques entre un groupe de jeunes enfants et un groupe de cinq adultes. Ceci indique que la méthode par appariement ne dépend ni d'une expérience préalable des échelles de sensations des continuums physiques, ni d'une capacité à traduire en valeurs numériques. La charge cognitive induite par cette méthode apparaît moins élevée que par des méthodes d'estimation directe. Les jugements sont le résultat d'un traitement de bas niveau sensoriel, moins dépendant des stratégies individuelles.

Ce dernier point explique sans doute qu'après un court délai d'apprentissage, cette méthode permet d'obtenir rapidement des données stables.

La comparaison des procédures expérimentales utilisées, des commentaires des sujets ainsi que les données disponibles dans la littérature nous ont permis d'apprécier de manière quantitative et qualitative l'intérêt de la méthode proposée. Ces résultats ont donc renforcé notre hypothèse concernant son utilisation avec le dispositif proprioceptif pour l'évaluation des caractéristiques acoustiques des sons non stationnaires. La procédure mise en place sera ensuite appliquée et testée sur des sons dont les contours en intensité seront contrôlés par synthèse (voir chapitre 6). Par ailleurs, à une procédure impliquant la méthode analogique/catégorielle décrite au chapitre 3, dont les avantages est l'analyse détaillée des données qu'elle permet d'obtenir (Weber, 1991), nous avaient amené à considérer l'utilisation dans notre étude

6 Appariement proprioceptif en son de sons purs variant en intensit[19]

La procédure par appariement inter-modal proprioceptif permis de manière stable de retrouver des résultats similaires à ceux qui ont été obtenus avec d'autres méthodes pour des sons stationnaires. Cette validation psychophysique nous permet d'envisager l'utilisation de la procédure mise au point pour évaluer des sons non stationnaires. Les études peu nombreuses ayant abordé l'évaluation des sons non stationnaires ont permis d'établir des relations entre les jugements continus et le jugement global en sonie de séquences sonores "naturelles", principalement des ambiances urbaines et des phrases musicales. Cependant, les caractéristiques de séquences n'ont pas permis de déduire des processus spécifiques de traitement temporel des contours en intensité. Aussi, dans un premier temps, les signaux que nous utiliserons seront des sons purs dont les profils en intensité acoustique seront contrôlés par synthèse. Nous examinerons ainsi les processus mis en jeu lors d'une évaluation globale. Par ailleurs, nous testerons la fiabilité de la procédure par appariement inter-modal dans une tâche de jugement en c

6.1 Introduction

En ce qui concerne l'évaluation subjective à long-terme de séquences sonores extraites de l'environnement urbain, les travaux effectués par Kuwano (1991) et Fastl (1985) montrent que les événements sonores prédominants en intensité influencent fortement l'impression globale. Les mesures physiques effectuées lors de ces deux études montrent dans l'une que les jugements continus et le jugement global sont respectivement bien corrélés au niveau acoustique en dBA et à la mesure du L_{eq}, et dans l'autre que l'impression globale est estimée par une valeur spécifique de la sonie, N_4 (voir §3.3.1.4, chapitre 3).

[19] Ce chapitre fait partie de l'article°: "Comparison of two methods for continuous loudness estimation of time-varying levels" Susini, P, McAdams, S. et Smith, B. soumis ACUSTICA - acta-acustica.

Cependant, les algorithmes d'intégration de l'énergie ne tiennent pas compte de la distribution des événements sonores. Or, différentes expériences réalisées dans le domaine de la mémoire font apparaître un effet de récence caractéristique de la mémoire auditive (§ 4.3.2.4 et § 4.6.2).

En résumé, les résultats mentionnés font apparaître deux hypothèses qui portent sur des séquences de longue durée. D'une part, les événements dominants sont responsables de l'impression globale quelles que soient leurs distributions temporelles, d'autre part, les recherches sur la mémoire auditive montrent deux résultats caractéristiques dans des tâches de rappel, un effet de primauté (non spécifique de la mémoire auditive) et un effet de récence provenant de deux types de stockage. On parle respectivement de stockage à long terme et de stockage à court terme.

L'un des buts de ce chapitre sera d'étudier l'influence de la distribution temporelle en intensité sur le jugement global d'un son non stationnaire. Les différentes conditions expérimentales et le choix des stimuli seront élaborés de façon à révéler un éventuel effet de récence dans une tâche de jugement global de la sonie. D'autre part, certains événements apparaissent plus ou moins rapidement dans une séquence sonore. Aussi, la durée d'émergence en intensité sera un autre facteur pris en compte dans l'étude. Les caractéristiques des stimuli testés sont présentées dans le paragraphe

Un autre intérêt de ce travail sera de déterminer le profil de sonie instantanée de sons présentant des fluctuations temporelles sur quelques dizaines de secondes à partir d'une tâche d'évaluation en temps réel. Dans la continuité du chapitre 5, le dispositif proprioceptif sera utilisé pour évaluer en temps réel les variations en sonie des sons non stationnaires testés. De nouveau, les sons utilisés seront des sons purs de fréquence 1000 Hz afin de conserver une homogénéité spectrale assez grande entre les deux parties stationnaires et non-stationnaires respectivement, et restreindre la variabilité stratégique inter-individuelle. En effet, différentes études réalisées avec des sons complexes ont montré, contrairement aux attentes, que l'évaluation de la sonie est un facteur dépendant des stratégies individuelles (Kuwano, Namba, Hato, Matui, Miura, Imai, 1993; Berglund, Preis, 1997).

Dans le paragraphe 6.2, nous rappellerons brièvement les caractéristiques de la méthode par appariement inter-modal proprioceptif. Nous y décrirons le dispositif utilisé dans la procédure de jugement analogique/catégoriel, ainsi que les caractéristiques du dispositif employé par Weber (1991), que nous utiliserons dans le but de comparer les résultats obtenus par deux méthodes différentes. Dans la procédure par appariement inter-modal mise en place, le point essentiel réside dans la phase d'étalonnage. Ainsi la fonction

d'appariement individuelle déterminée en utilisant des sons stationnaires de courte durée. Cette phase et la transformation individuelle de l'échelle seront décrites au paragraphe 6.3. Puis, les profils en sonie des sons non stationnaires dont les contours en intensité sont définis et contrôlés par synthèse, seront évalués par l'ensemble des sujets en utilisant les deux méthodes mentionnées. L'impression de chacun des stimuli sera estimée selon trois conditions expérimentales différentes, afin de mettre en exergue l'effet produit par la distribution temporelle en intensité (§6.4). L'analyse des résultats obtenus sera présentée dans le paragraphe 6.5. et la discussion (§6.6).

6.2 Description des dispositifs d'évaluation

6.2.1 Dispositif proprioceptif

Dans la procédure par appariement inter-modal (AIM), le sujet associe une force musculaire équivalente à l'intensité perçue d'un attribut auditif, en déplaçant le levier du dispositif proprioceptif. Le levier, en exerçant une résistance en fonction du déplacement angulaire, crée ainsi un retour d'effort qui informe en continu le sujet.

Le point essentiel du dispositif qu'il peut être calibré en fonction des sensibilités individuelles et de la gamme de variation des stimuli testés. En début d'une séance précédant l'expérience principale, tous les sujets procèdent à une phase d'étalonnage individuelle. Cette phase garantit l'obtention des données avec une bonne résolution et permet d'éviter des effets de saturation dans les données. Finalement, la fonction d'appariement individuelle obtenue pour chaque sujet. C'est à partir de cette fonction qu'il sera possible de traduire les jugements exprimés par une force (Newtons) en pression acoustique (µPascal), de comparer les résultats en µPascal directement en termes de moyennes et de barres d'erreur exprimées en dB. La fonction d'appariement individuelle permet comparer les résultats obtenus pour chaque individu en dépit d'échelles sensorielles différentes. Par exemple, un sujet associe une force de 2 Newtons à un son présenté à un niveau de 75 dB SPL, et un autre sujet associe au même son une force de 7,5 Newtons; les sensations auditives correspondent au même son, mais les jugements de force en Newtons ne peuvent être comparés car ils ne reproduisent pas les mêmes équivalences.

Ainsi, la phase d'étalonnage, capitale pour éliminer certains biais expérimentaux, permet d'ajuster les jugements sur une échelle de dynamique semblable.

6.2.2 Dispositif combinatoire analogique/catégoriel (A/C)

Le dispositif combinatoire analogique/catégoriel (A/C) que nous utilisons est similaire au dispositif proposé par Weber (1991). C'est une combinaison de mesures analogiques et discrètes sur plusieurs catégories. Dans la version adaptée ici, une ligne est subdivisée en sept catégories dont les étiquettes sont: *très très fort, très fort, fort, moyen, faible, très faible, très très faible*. L'échelle est donc divisée en six intervalles. Weber avait utilisé cinq catégories. Un curseur peut être déplacé par le sujet de façon continue le long de cette échelle. L'amplitude de déplacement du curseur est de 12 cm. L'écart successif est donc de 2 cm. Une tension électrique permet de déterminer la position du curseur sur l'échelle correspondant au jugement de l'auditeur.

6.3 Etalonnage et fonction psychophysique indi d'appariement inter-modal

6.3.1 Sujets

Un groupe de 28 sujets (21 hommes et 7 femmes), âgés de 21 et 30 ans (moyenne ≈ 27 ans) a participé aux tests. Neuf des sujets avaient déjà passé des tests utilisant le dispositif proprioceptif. Aucun des sujets n'a mentionné avoir une déficience au

6.3.2 Stimuli

Dans la phase d'étalonnage, les stimuli utilisés sont onze sons stationnaires de 1000 Hz dont les niveaux acoustiques varient de 60 à 90 dB. SPL par pas de 3 dB. La durée des sons est de 1 seconde.

6.3.3 Appareillage

L'équipement expérimental utilisé est identique à celui qui est décri

6.3.4 Procédure

La procédure est la même que celle réalisée dans l'expérience 5.5.3 du chapitre 5 (voir §5.6). Précisons que la procédure est répétée deux à trois fois au moins en présence de l'expérimentateur afin que le sujet s'habitue à la procédure et que l'expérimentateur se

ajuster au mieux la résistance du dispositif en fonction des réactions du sujet. La phase d'ajustement consiste à observer sur le sujet une grande gamme de déplacement du levier par rapport aux stimuli diffusés, la forces-cible stimulus de niveau le plus élevé (90 dB SPL) approche la limite maximale de déplacement du levier. Lorsque le sujet se sent à l'aise avec le dispositif à sérieux, il effectue une dernière série, sans la présence de l'expérimentateur. Les données obtenues lors du dernier test permettent d'évaluer la fonction psychophysique individuelle du sujet pour des sons

6.3.5 Transformation d'échelle individuelle par appariement i

Appariement force apparente (*f*) à l'intensité acoustique perçue (*l*) des stimuli présentés correspond à la relation suivante :

$$\log \Phi_f = a \log_{10} \Phi_l + b \qquad (6.1)$$

Soit, finalement, une relation linéaire exprimant le logarithme de la fonction du log de la pression acoustique en µPascal. Pour chacun des sujets (i), la fonction d'appariement individuelle équation 6.2 est obtenue par la procédure décrite précédemment. Une fonction individuelle caractérisée par le couple (a_i, b_i) est donc exprimée de la manière suivante :

$$\log \Phi_f = a_i \log_{10} \Phi_l + b_i \qquad (6.2)$$

Le couple (a_i, b_i) permet une transformation d'échelle individuelle selon la relation 6.3 pour passer de la force exprimée en Newton au niveau acoustique exprimé

$$\Phi_l(pression) \underset{(a_i,b_i)^{-1}}{\overset{(a_i,b_i)}{\rightleftarrows}} \Phi_f(force) \qquad (6.3)$$

Ainsi, dans la suite de l'expérience, les jugements obtenus sous la forme de forces "équivalentes" en Newtons sont transformés en pression acoustique individuellement puis représentés en dB sur l'ensemble des sujets.

6.4 Expérience 7 : évaluation de la sonie des stationnaires

6.4.1 Stimuli

Les stimuli sont des sons purs de fréquence 1000 Hz générés par une station NeXT. Les contours temporels en intensité sont contrôlés par synthèse SPW à l'aide du logiciel Max. Trois groupes de profils temporels sont envisagés.

Tout d'abord les signaux du premier groupe augmentent linéairement entre 60 et 80 dB SPL pour des durées de 2, 5, 10 et 20 secondes (figure 6.1.a). La rampe de variation en intensité est linéaire dans le temps de pente positive. Etant donné la forme de l'enveloppe temporelle, ces signaux sont nommés R2, R5, R10 et R20 respectivement pour les durées mentionnées.

Les signaux du deuxième groupe augmentent linéairement entre 60 et 80 dB SPL puis diminuent de la même manière jusqu'à 60 dB SPL. Les durées de montée et de descente sont de 2, 5, et 10 secondes (figure 6.2.a). La variation en intensité correspond à une dent-de-scie dont les pentes sont de valeurs opposées. Ces signaux sont nommés 1PIC (1P), soit 1P2, 1P5 et 1P10 respectivement pour chacune des durées de la rampe de montée.

Les signaux du troisième et dernier groupe correspondent aux six combinaisons de trois pics dont les niveaux crêtes sont 75, 80 et 90 dB SPL. A ces niveaux crêtes sont associés respectivement les lettres B (Bas), M (Moyen) et H (Haut). Les temps de montée et de décroissance ont une durée de 5 secondes (figure 6.3.a). Entre la fin et le début de deux pics successifs, le niveau (60 dB SPL) est constant sur une durée de dix secondes. Les six combinaisons correspondent aux différentes configurations possibles des trois pics 3PICS (3P), soit dans l'ordre de présentation sur la figure 6.3.b : HMB, HBM, MHB, BHM, MBH et BMH.

Les signaux commencent et terminent par un plateau d'une durée de trois secondes de niveau constant (60 dB SPL).

6.4.2 Procédure expérimentale

Après avoir évalué les fonctions psychophysiques d'appariement inter-modal individuelles, l'expérience se déroule en trois phases correspondant respectivement à trois conditions

d'écoute, le but étant d'examiner les réponses dans différentes situations d'écoute. La première correspond à une écoute attentive continu étant donné que l'auditeur doit évaluer en continu l'intensité acoustique perçue. L'évaluation globale peut être le résultat d'une intégration des jugements continus (moyenne des jugements par exemple) ou au contraire, peut être perturbée par la tâche de jugement en continu. Dans la deuxième condition, l'auditeur n'est pas contraint d'être attentif aux variations du signal. Il est envisageable que les résultats montrent une plus forte variabilité inter individuelle dans la première condition. La comparaison des jugements globaux dans les deux premières conditions permettra d'estimer la nécessité d'obtenir des profils de jugements continus. La troisième condition correspond à une situation plus "réaliste". En effet, dans les deux premières conditions, l'auditeur est à l'écoute des sons, ce qui n'est pas le cas en général lorsqu'un individu est plongé dans un contexte naturel (par exemple, dans une situation de conduite automobile). Les procédures impliquées dans ces conditions sont décrites ci-dessous :

- Condition 1 : les auditeurs écoutent les sons tout en suivant leur évolution temporelle avec le dispositif, c'est-à-dire associa à chaque instant une force équivalente à l'intensité acoustique perçue. Puis il leur est demandé d'évaluer à la fin de chacun des sons l'intensité globale perçue sur la durée totale, en associant une force musculaire équivalente. Après chaque évaluation globale, le sujet commande lui-même, en appuyant sur un bouton, la diffusion du stimulus suivant. La procédure est répétée avec le dispositif analogique/catégoriel.
- Condition 2 : les auditeurs écoutent les sons et évaluent à la fin de chacun d'eux l'intensité globale perçue de la même manière que dans la première condition. Cette procédure est réalisée avec les deux dispositifs dans des séances différ
- Condition 3 : les sujets doivent réaliser une tâche visuelle pendant qu'un des stimuli acoustiques est diffusé. Cette condition correspond au paradigme proposé au paragraphe 4.7.3 dans le chapitre consacré à la mémoire. La consigne donnée avec insistance aux sujets est de se concentrer sur la tâche visuelle et de répondre correctement le plus souvent possible. Trois rectangles numérotés 1, 2, 3 correspondant à des lampes sont représentés sur l'écran de contrôle. Les rectangles s'allument successivement, formant ainsi une combinaison de trois chi "3 3 3", etc.). Il est possible ainsi d'obtenir 27 combinaisons différentes. Le sujet doit reproduire chacune des combinaisons le plus rapidement possible grâce clavier associées aux chiffres 1, 2 et 3. Dès la réponse, un message lui indique s'il s'est trompé ou non, puis aussitôt une nouvelle série est diffusée. Cette

tâche n'est pas difficile, mais nécessite toutefois un petit effort d'attention et de mémoire, suffisant pour que le sujet ne soit pas uniquement à l'écoute du son. Quelque soit le déroulement, la tâche est brutalement interrompue à la fin du son. Un message demande alors au sujet d'évaluer son impression globale de l'intensité perçue. Le nombre de séries visuelles pendant lesquelles les données sont collectées dépend de la rapidité de l'attention du sujet. Le résultat apparaît après chaque série de séries est enregistré pour chacun d'eux.

Cette troisième condition sera comparée avec les deux premières. Si les résultats s'avèrent similaires, et à l'appui de l'hypothèse sous-jacente de la troisième condition (voir chapitre 4, §4.7.3), on pourra conclure à une stratégie semblable de jugement global en relation avec la fin du contour en intensité de chacun des stimuli.

Dix-huit sujets réalisent les deux premières conditions. Neuf sujets commencent par la première condition et les neuf autres par la seconde. De même, neuf sujets commencent en utilisant l'un des deux dispositifs tandis que les neuf autres sujets utilisent l'autre dispositif. Les vingt-huit sujets effectuent uniquement la troisième condition avec le dispositif proprioceptif seul. Dans chacune des conditions, les sujets effectuent une série d'essais sur quelques sons. Les sons sont diffusés dans un ordre aléatoire pour chaque séance.

6.5 Résultats

6.5.1 Jugements continus[20]

Les profils des jugements continus obtenus par les deux méthodes sont représentés sur les figures 6.1, 6.2 et 6.3 respectivement pour les stimuli de type RAMPE, 1PIC et 3PICS. Ils correspondent à la moyenne des jugements individuels exprimée, d'une part, par la position du curseur le long des sept catégories de B, pour la méthode par appariement inter-modal.

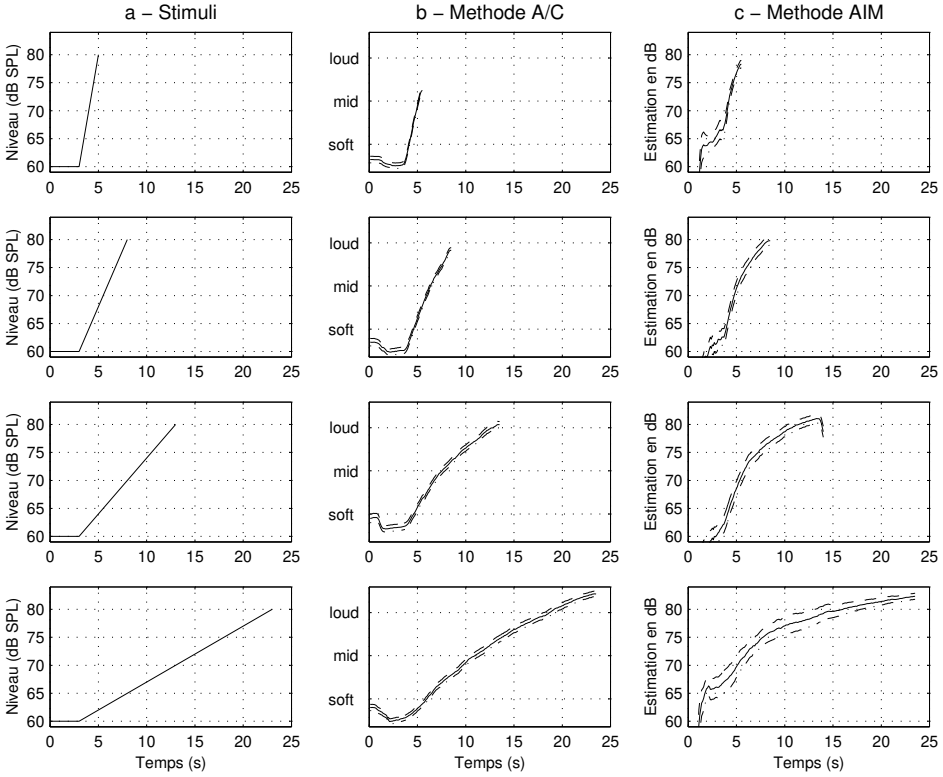

Figure 6.1˚: a - Profils des niveaux acoustiques en dB des stimuli du groupe 1 (R2, R5, R10 et R20). Profils moyens des jugements continus - b - par la m thode combinatoire analogique/cat gorielle (A/C) et - c - par appariement (AIM). Les profils en traits discontinus correspondent aux (–) erreurs-type chaque instant.

[20] Pour simplifier la lecture dans la suite du texte, nous adoptons la notation suivante˚:

- **Jg(1,2,3) : Jugement global dans la premi re, deuxi me ou troisi me condition**
- **Jc : Jugements continus**
- **Moy : Moyenne**
- **Max : Maximum**

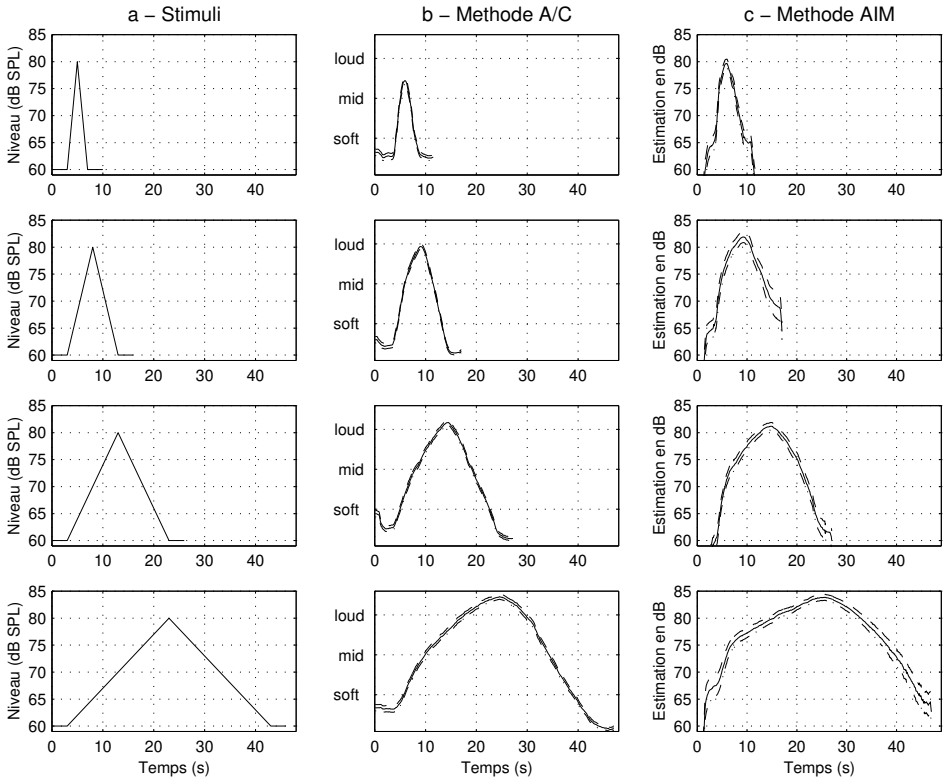

Figure 6.2°: a - Profils des niveaux acoustiques en dB des stimuli du groupe 2 (1P2, 1P5, 1P10 et 1P20). Profils moyens des jugements continus - b - par la m thode combinatoire analogique/cat gorielle (A/C) et - c - par appariement (AIM). Les profils en traits discontinus correspondent aux (–) erreurs-types chaque instant.

Globalement, les deux méthodes fournissent des résultats satisfaisants et permettent d'obtenir une bonne évaluation des profils d'intensité acoustique des stimuli. Avec la méthode analogique/catégorielle, le fonctionnement du dispositif, lieu déplacement du curseur, a peu d'interaction physique avec l'utilisateur. La courbe de réponse est une fonction linéaire de la position. L'allure des courbes obtenues conserve bien en moyenne la forme des contours des stimuli. En revanche, avec l'effort, la force appliquée dépend du déplacement angulaire et de l'accélération appliquée au système masse+tige par le sujet dans le cas d'un mouvement quasi-stationnaire s'écrit :

$$\|R\| = \frac{mgl}{a}\sin\alpha \qquad (6.4)$$

avec a correspondant à la distance entre l'axe de rotation et la poignée, l représentant la distance entre l'axe de rotation et le centre. Cette équation correspond à celle qui décrit le système dans une tâche d'évaluation de stimuli stationnaires (Chap

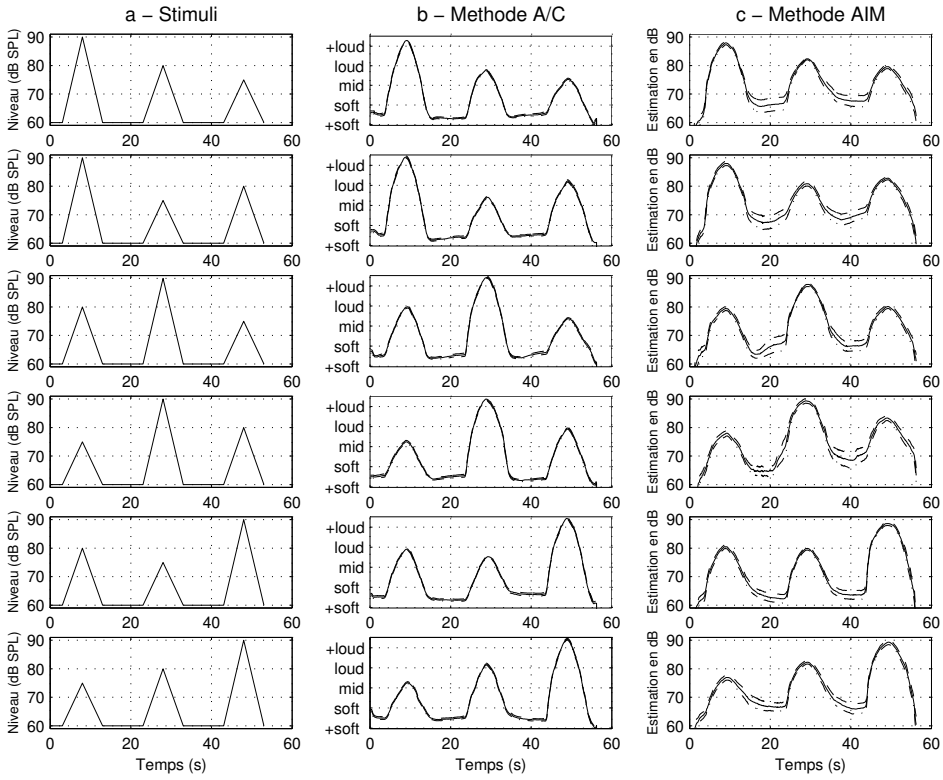

Figure 6.3°: a - Profils des niveaux acoustiques en dB des stimuli du groupe 3 (3P). Profils moyens des jugements continus - b - par la m thode combinatoire analogique/cat gorielle (A/C) et - c - par appariement (AIM). Les profils en traits discontinus correspondent aux (–) erreurs-types chaque instant.

Pour les mouvements évoluant de manière dynamique en fonction du temps, la force appliquée par le sujet peut s'écrire de la manière suivante :

$$\|R(t)\| = \frac{mgl}{a}\sin\alpha(t) + \frac{ml^2}{a}\ddot{\alpha}(t) \qquad (6.5)$$

Il apparaît un terme supplémentaire lié à l'inertie du système, à laquelle l'accélération du mouvement produit. Sur la figure 6.4, les termes de l'équation 6.5 correspondant au déplacement et à l'accélération sont représentés respectivement par les forces $F_1(t)$ et $F_2(t)$ pour les stimuli 1P2 et 1P20 présentés sur la figure 6.2. Ces stimuli se différencient uniquement par la durée de la rampe de variation linéaire en intensité, respectivement 2 et 20 secondes, pour une dynamique 80 dB. Les courbes de variation de la vitesse sont représentées sur les mêmes figures et correspondent à une fonction impaire par rapport à l'apparition temporelle du maximum en intensité. Pour des mouvements inverses associés respectivement à une rampe de variation en intensité de pente positive et négative, de stimulus du type 1PIC, les sujets compensent en temps réel la force appliquée pour conserver une variation similaire dans les deux cas. Sur la

courbe liée à l'accélération, un pic apparaît au début, ce qui traduit une variation soudaine de la fonction d'appariement pour un changement rapide de l'intensité. Cet effet souligne un inconvénient de la méthode principale pour des variations rapides. En effet, l'amplitude du pic diminue en fonction de la durée de la rampe. Finalement, les courbes révèlent que l'accélération du système (F_2) est négligeable par rapport au terme correspondant au déplacement (F_1), d'autant plus lorsque la durée de la rampe augmente.

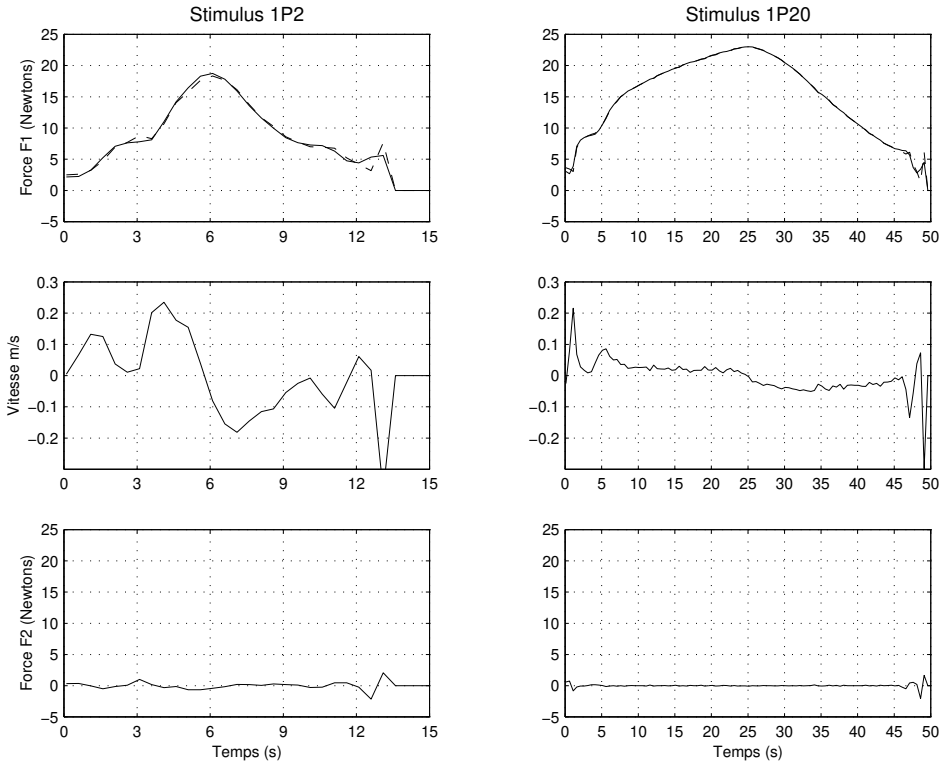

Figure 6.4˚: Les forces $F_1(t)$ et $F_2(t)$ correspondant aux termes associ s de l' quation 8 respectivement au d placement et l'acc l ration du syst me - masse+tige+sujet - sont repr sent es en traits continus. La somme des deux forces est repr sent e en traits discontinus (--). Les figures du milieu correspondent la vitesse de la masse.

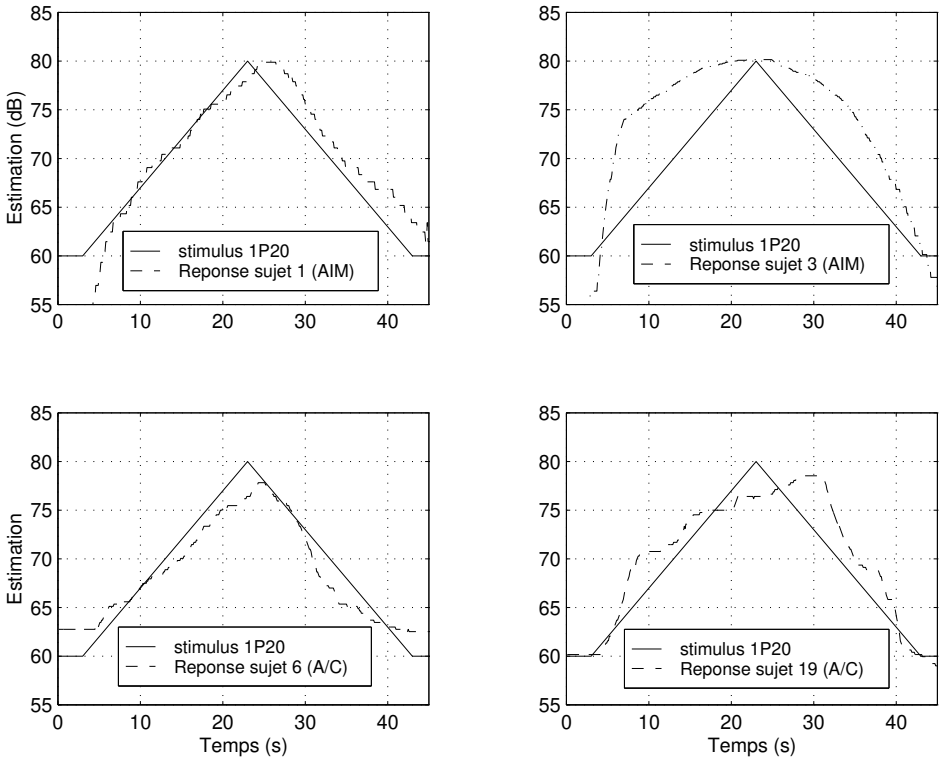

Figure 6.5° : Profils des jugements continus du stimulus 8 produit par les sujets 1 et 3 avec la m thode AIM, d'une part, et par les sujets 6 et 19 avec la m thode A/C, d'autre part.

La comparaison des données laisse apparaître une variabilité inter-individuelle dans les profils des jugements continus, quelle que soit la méthode.

De manière caractéristique, les profils de réponse obtenus par appariement inter-modal présentent une forme symétrique non décalée par rapport à celle du signal, dent-de-scie [1P20]. Dans ce cas, la réponse est effectuée aisément en temps réel, sans qu'apparaissent de grandes différences entre les jugements obtenus p signe opposée. D'autres profils ont une forme asymétrique décalée par rapport au signal physique. Ceci s'explique en partie par le fait que, pour une rampe de pente négative, l'inertie du dispositif accompagne le mouvement monotone produit par le sujet de telle sorte que la force appliquée diminue rapidement (figure 6.5). L'asymétrie observée révèle un inconvénient du dispositif proprioceptif.

Avec le dispositif logique/catégoriel, deux types de courbes de réponses sont obtenus : des courbes analogiques et des courbes en paliers (figure 6.5). Une Weber (19 différence similaire entre les sujets dans son étude sur des séquences sonores extraites de l'environnement. Ces deux types de réponses peuvent être attribués à l'utilisation d'échelles différentes sur le même dispositif, c'est-à-dire à un découpage de l'échelle analogique en

catégoriel. Dans un cas, le curseur est déplacé de manière continue, dans l'autre, le curseur est positionné par rapport à l'échelle discrète associée aux étiquettes. De plus, l'aspect "statique" du curseur laisse le sujet modifier en continu son jugement. En effet, avec ce système, le sujet peut faire évoluer son jugement sur différentes positions de "repos" du palier sans effort, contrairement au dispositif proprioceptif, pour tout ce qui concerne des évolutions temporelles entre la différence entre deux positions de "repos" successives correspondrait à un seuil différentiel suffisant pour que le sujet décide de modifier la position du curseur.

Par ailleurs, certains profils de jugement obtenus par le dispositif logique/catégoriel sont écrêtés pour le pic de niveau le plus fort (90 dB SPL). Le niveau acoustique de 90 dB SPL d'un son de 1000 Hz correspond à une notion sémantique supérieure au qualificatif "très fort" indiqué en fin d'échelle. Ceci signifie qu'en fonction de l'échelle perceptive individuelle et du lexique du sujet associé, une variation aussi bien compressée que dilatée d'un sujet à l'autre pour une variation donnée du niveau.

Globalement, les courbes obtenues pour les stimuli RAMPE du premier groupe avec la méthode analogique/catégorielle (A/C), représentées Figure 6.1, sont une forme figure proche des contours physiques que celles qui sont obtenues avec la méthode par appariement (AIM) qui ont une courbure. Les paliers d'une durée de 3 s au début du signal sont moins nets avec la méthode AIM. Même constat en ce qui concerne les stimuli PIC du deuxième groupe. Il apparaît une asymétrie quelle que soit la méthode entre la montée et la descente, et ce d'autant plus lorsque la durée augmente. Cette asymétrie est plus prononcée avec la méthode AIM. Avec la méthode A/C, le palier de fin est de plus en plus sous-estimé par rapport au palier de départ au fur et à mesure que la durée augmente. Il n'apparaît quasiment pas de palier de fin avec la méthode AIM. Les courbes d'estimation correspondant au troisième groupe (ex MBH) sont plus fidèles aux contours physiques avec A/C qu'avec la méthode AIM. En effet, les paliers obtenus avec la méthode A/C sont équivalents lorsque ceux qui sont retranscrits avec la méthode AIM varient au cours du temps et sont estimés avec une plus forte variabilité sur les pics sur l'ensemble des sujets (voir figure 6.3). L'écart estimé entre les paliers peut atteindre environ 5 dB.

Enfin, les temps de réaction individuels ont été évalués lors de la tâche de jugement en continu. Pour l'analyse du temps de réaction, le coefficient de corrélation des jugements continus et le profil en intensité acoustique qui est échantillonné toutes les 100 ms est calculé. Les profils sont décalés l'un par rapport à l'autre par incréments

temporels de 100 ms qu'à un écart maximal de trois secondes. Pour chaque incrément de 100 ms, le coefficient de corrélation est évalué. Le temps de réaction entre les profils perceptifs et physiques est défini comme le décalage ayant le coefficient de corrélation maximal. Ce calcul est réalisé pour chacun des stimuli et chacun des sujets. Le temps de réaction individuel est obtenu par une moyenne des temps de retard pour chacun des stimuli. Les temps de réaction individuels, ainsi calculés, correspondant à la méthode analogique/catégorielle et à la méthode par appariement inter-modal, varient respectivement, entre 0,3 et 1,4 seconde, et entre 0,65 et 2 secondes.

Globalement, pour la méthode analogique/catégorielle (AIM), le temps de retard obtenu sur l'ensemble des sujets et des stimuli est de 0,9 seconde. De même pour la méthode par appariement inter-modal, le temps de retard obtenu sur l'ensemble des sujets et des stimuli est de 1,1 seconde. Cette différence révèle un avantage de la méthode analogique/catégorielle (AIC) par rapport à la méthode par appariement inter-modal, surtout dans le cas de fluctuations rapides. L'inertie du dispositif proprioceptif est sûrement la cause du délai plus important comptable. Un autre inertie du système est la fatigue due à l'effort musculaire effectué en continu sur une longue durée. Cependant, aucun effet caractéristique lié à une fatigue musculaire n'a pu être constaté dans une tâche réalisée en continu sur quelques minutes.[21]

6.5.2 Jugement global

6.5.2.1 Condition 1

Les figures 6.6, 6.7 et 6.8 représentent les jugements obtenus respectivement pour les stimuli RAMPE, 1PIC et 3PICS. Seules les conditions 1 et 2 ont été examinées en utilisant le dispositif analogique-catégoriel.

La première condition correspond à une écoute attentive en continu étant donné que l'auditeur doit évaluer en continu l'intensité acoustique de RAMPE. Pour le premier groupe présenté sur la figure 6.1, la valeur moyenne et la valeur maximale des jugements continus d'une part, et le jugement global, d'autre part, augmentent de manière similaire en fonction de la durée de la rampe de variation en intensité (figure 6.6). Par ailleurs, les valeurs moyennes et maximales des jugements continus sont

[21] Une expérience a été réalisée pour rendre compte d'un éventuel effet de fatigue sur quelques minutes. Dans cette expérience, le son varie en intensité sur 90 secondes. Six niveaux d'intensité entre 60 et 75 dB SPL sont présentés et répétés 15 fois chacun. Les résultats individuels laissent apparaître parfois pour les bas niveaux (60 dB SPL) une variabilité intra-individuelle pouvant aller jusqu'à des différences d'estimation de l'ordre de 10 à 15 dB pour certains sujets contre des différences d'environ 5 dB pour les hauts niveaux (75 dB SPL). Les données n'ont permis de révéler aucun indice rendant compte d'un effet de fatigue, au moins sur une durée de 7.5 minu

significativement différentes de celle du jugement global dans cette dispositifs (voir ANOVA, annexe 1).

La dynamique acoustique [60 – 80 dB] est identique quelle que soit la durée, la valeur maximale des jugements continus obtenus avec la méthode AIM passe de 78 à 82 dB environ pour des durées respectivement de 2 et 20 secondes. De manière courbes obtenues avec le dispositif logique/catégoriel, la valeur maximale augmente environ d'une valeur proche de la catégorie verbale "moyen" à une "fort" et "très fort". Il apparaît donc une dérive temporelle des jugements durée de la rampe de variation en intensité.

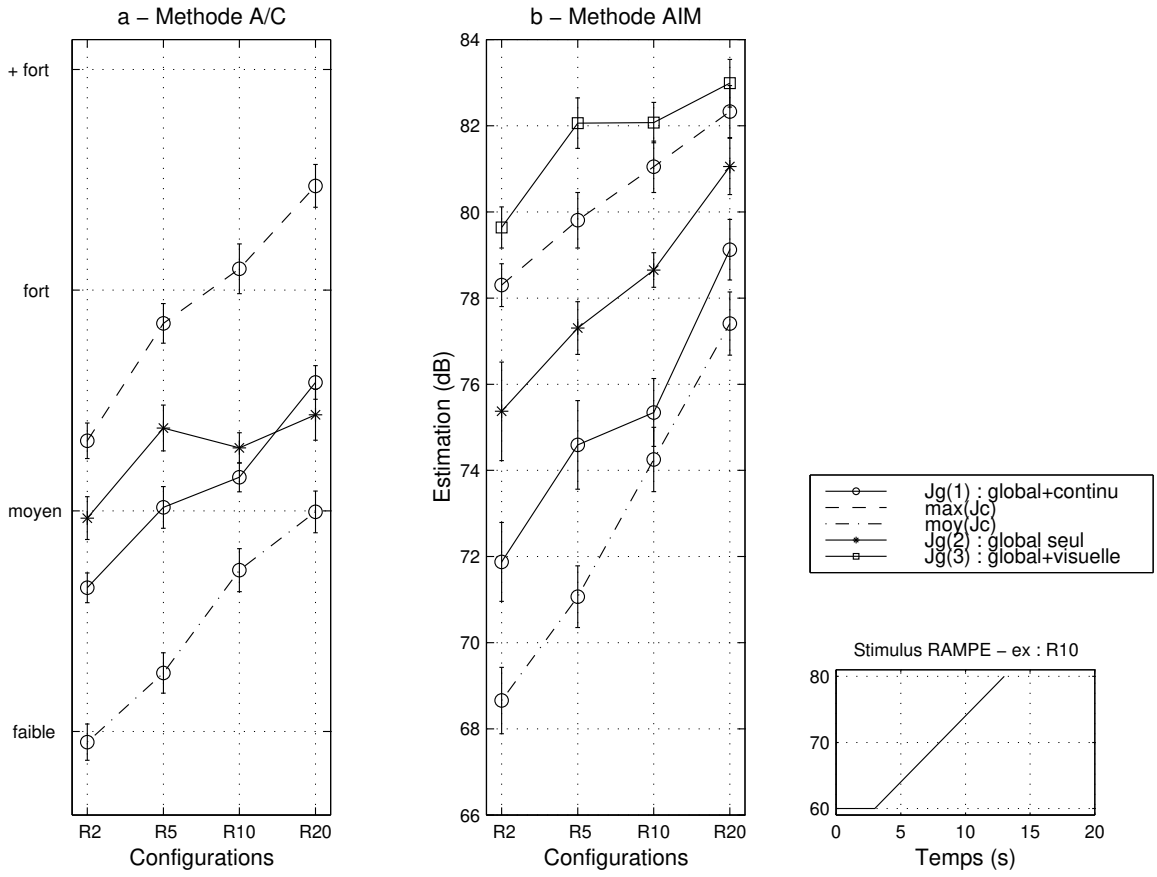

Figure 6.6˚: Jugement global obtenu pour les stimuli R2, R5, R10 et R20, ayant une seule rampe de niveau, dans les trois conditions (Jg(1)˚: global+continu, Jg(2)˚: global seul, Jg(3)˚: global+t che visuelle) et par les deux m thodes (A/C, AIM). Le maximum (Max(Jc)) et la moyenne (Moy(Jc)) des jugements continus sont repr sent s sur les figures pour chaque stimulus ainsi que les barres – une erreur-type.

Les résultats obtenus pour les stimuli du sixième groupe (1P2, 1P5, 1P10 et 1P20) sont similaires à ceux qui ont été présentés précédemment (figure 6.7). La valeur maximale du profil des jugements continus, et le jugement global, évoluent de la même manière en fonction de la durée du signal. Cependant, chaque jugement global est proche de la valeur moyenne du profil respectif des jugements continus. En effet, la différence est pas significative pour les données obtenues avec la méthode A/C (analyse 6.6, annexe 1). Les valeurs du jugement global sont donc translatées vers les jugements moyens. Néanmoins les jugements sont significativement différents des valeurs moyennes et maximales des jugements continus pour la méthode AIM.

D'autre part, on constate de nouveau un effet de dérive des jugements en fonction de la durée.

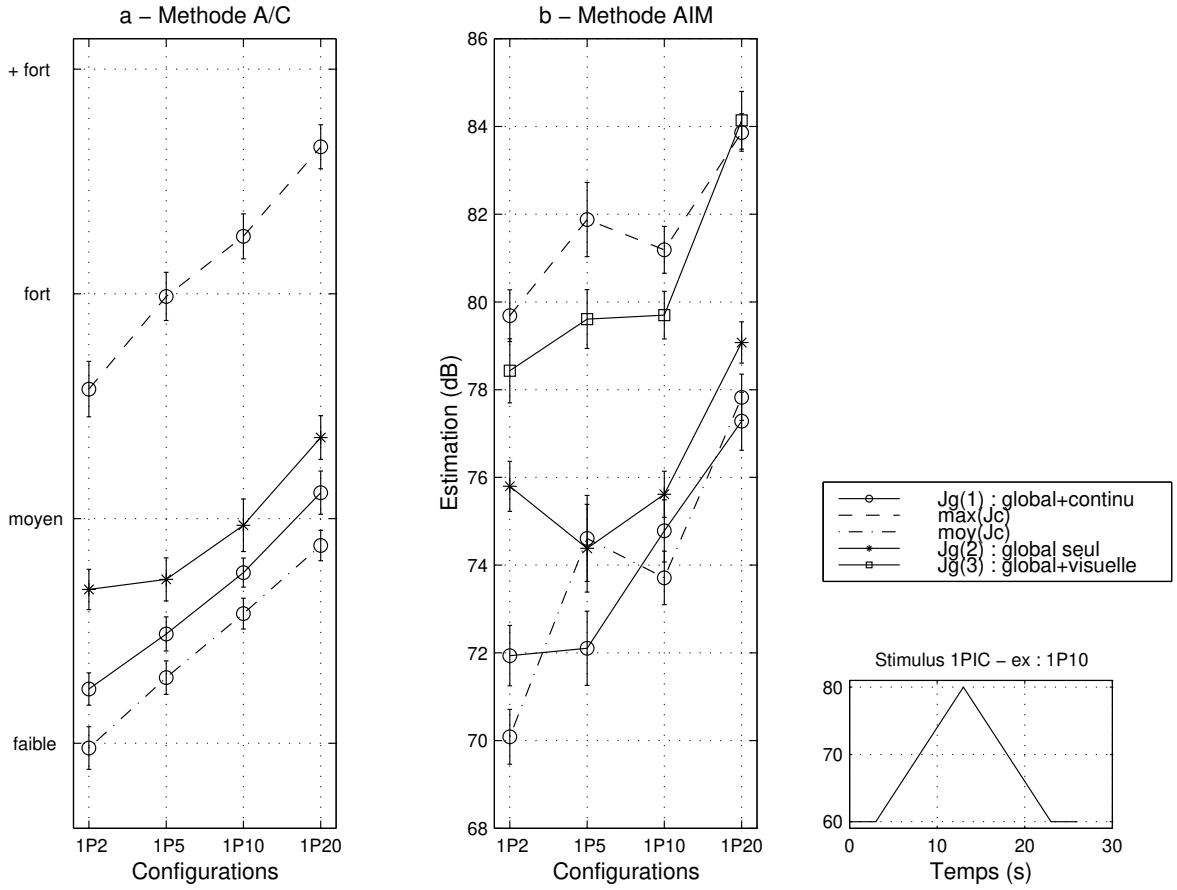

Figure 6.7°: Jugement global obtenu pour les stimuli 1P2, 1P5, 1P10 et 1P20 dans les trois conditions (Jg(1)°: global+continu, Jg(2)°: global seul, Jg(3)°: global+t che visuelle) et par les deux m thodes (A/C, AIM). Le maximum (Max(Jc)) et la moyenne (Moy(Jc)) des jugements continus sont repr sent s sur les figures pour chaque stimulus ainsi que les barres – une erreur-type.

Les stimuli 3PICS présentés sur la figure 6.3 ont un niveau acoustique L_{eq} identique de 74 dB SPL. Ils se composent de trois pics dont les niveaux crêtes sont 75, 80 et 90 dB SPL. Globalement, les valeurs moyennes et maximales des jugements continus sont quasiment similaires pour les six stimuli (figure 6.8). Au contraire, il apparaît une différence significative entre les stimuli en ce qui concerne le jugement global. Cette différence dépend de la distribution temporelle en énergie acoustique. Par exemple le jugement global des stimuli HMB et BMH, avec la méthode par appariement inter-modal (AIM). Les résultats peuvent être comparés en fonction de la position dans la trame construite par les trois pics (voir ANOVA, Analyse 6.13, Annexe 1). La valeur du jugement global des stimuli HMB et HBM, dont le pic le plus fort est situé en début de la trame, est légèrement plus élevée que la valeur moyenne des jugements continus.

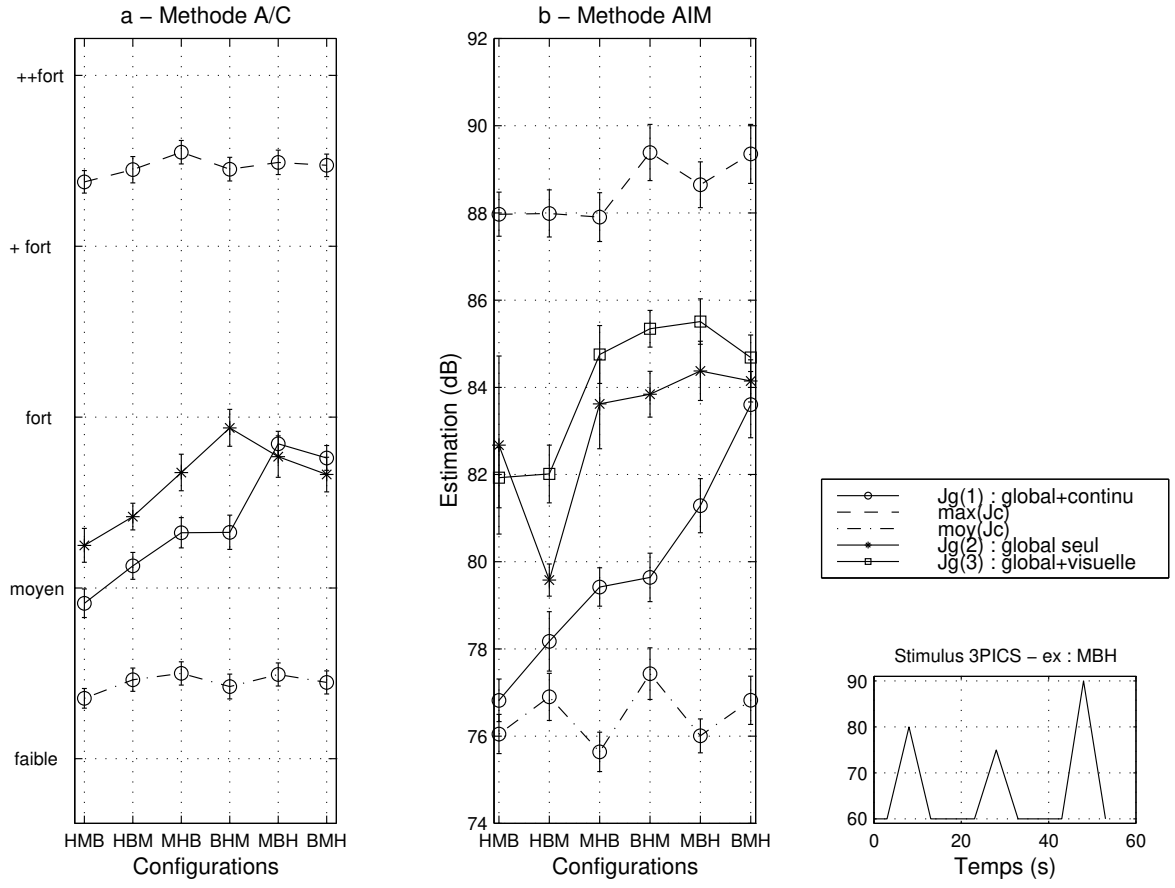

Figure 6.8˚: Jugement global obtenu pour les stimuli HMB, HBM, MHB, BHM, MBH et BMH dans les trois conditions (Jg(1)˚: global+continu, Jg(2)˚: global seul, Jg(3)˚: global+t che visuelle) et par les deux

m thodes (A/C, AIM). Le maximum (Max(Jc)) et la moyenne (Moy(Jc)) des jugements continus sont repr sent s sur les figures pour chaque stimulus ainsi que les barres – une erreur-type.

A l'opposé, les stimuli HBM, dont le pic le plus fort situé en fin de trame ont une valeur pour le jugement global comprise entre la valeur moyenne et la valeur maximale des jugements continus. Il apparaît donc que le jugement global varie de la valeur moyenne vers une valeur intermédiaire entre la valeur moyenne et la valeur maximale des jugements continus, lorsque le pic le plus fort est déplacé de la première position en partant du début de trame vers la troisième position. Des différences similaires peuvent être observées à partir des données obtenues avec la méthode analogique/

6.5.2.2 Condition 2

Dans la deuxième condition, le sujet donne uniquement un jugement global à la fin du stimulus, ce qui le contraint pas à une attention particulière aux variations du signal. De manière systématique, les jugements obtenus dans cette condition sont plus élevés que ceux obtenus dans la première condition. La tendance générale est similaire (cf. analyse 3, 6.8 et 6.14, annexe 1). Toutefois, pour les stimuli HPICS, les valeurs du jugement global obtenues avec le dispositif analogique/catégoriel sont différentes. Ainsi, les valeurs du jugement global obtenues pour les stimuli HBM et HMB, dont le pic le plus fort est situé au début de trame, se distinguent des autres. De même, avec la méthode par appariement inter-modal, la valeur du jugement global du stimulus HBM se différencie des autres ce qui n'est pas le cas du stimulus HMB pour lequel on retrouve, à l'inverse, une grande variance des jugements inter individuelle. Finalement, les jugements obtenus dans la deuxième condition expérimentale confirment les stratégies de jugement révélées dans la première condition même si les résultats sont moins contrastés et moins

6.5.2.3 Condition 3

Dans la troisième condition, la procédure expérimentale conçue par Moray (1959) a été adaptée à deux modalités sensorielles différentes : visuelle et auditive.

Globalement, tous les sujets ont bien effectué la tâche visuelle. De 101 à 132 séquences (124 en moyenne) ont été réalisées. Les taux d'erreurs sont en général très faibles (moins de 4%) à l'exception du sujet 10 dont le taux d'erreur est d'environ 16%.

Les valeurs des jugements dans la troisième condition sont plus élevées que celles obtenues dans les deux conditions précédentes. Donc, lorsqu'un sujet porte son attention sur la tâche visuelle, la tendance à surestimer l'intensité perçue des stimuli pour les

stimuli RAMPE et 1PIC, les jugements sont proches des maxima des jugements continus. Pour 3PICS, les stimuli HMB et HBM, pour lesquels le pic se situe au début de la trame, sont jugés moins forts en intensité. Ce résultat, selon l'hypothèse associée à cette procédure, confirme que le jugement global dépend des événements. Les résultats montrent que dès la deuxième trame, le pic dans sa trame influence le jugement global.

6.5.2.4 Résumé[22]

Les données obtenues pour les stimuli RAMPE du premier groupe ont tendance à augmenter de manière significative avec la durée (voir analyse 6.1 à 6.5, annexe 1). Le jugement global et les jugements continus sont affectés par la durée.

Il n'y a pas d'interaction entre les valeurs obtenues (Max(Jc), Jg(2), en fonction de la durée. En d'autres termes, la moyenne et le maximum des jugements continus s'expliquent par le jugement global (Jg(1)). Par ailleurs, le type d'écoute dépendant de la condition affecte le jugement global produit.

Globalement :

- [Moy(Jc) < Jg(1) < Max(Jc)] pour le groupe 1 avec la méthode A/C. Les valeurs du jugement global dans la première et la deuxième condition ne sont pas significativement différentes (analyse 6.3)
- [Moy(Jc) < Jg(1) < Jg(2) < Max(Jc) < Jg(3)] pour le groupe 1 avec

La tendance est similaire avec les données correspondant aux stimuli 1PIC (voir analyse 6.6 à 6.10). Il apparaît cependant quelques inversions avec la méthod

Globalement :

- [Moy(Jc) < Jg(1) < Jg(2) << Max(Jc)] pour le groupe 2 avec la méthode A/C. La différence entre les valeurs moyennes et les valeurs du jugement global dans la première condition n'est pas significative. Dans ce cas, il apparaît que la valeur moyenne des jugements continus prédit le jugements global (Jg(1)).
- [Moy(Jc) < Jg(1) < Jg(2) << Jg(3) < Max(Jc)] pour le groupe 2 avec

Les valeurs du jugement global dans la première condition pour les stimuli 3PIC du troisième groupe ont tendance à augmenter de manière significative en fonction de la position du pic le plus élevé (voir analyse 6.13). Cet effet est moins prononcé dans les deux autres conditions. Il est similaire quelle que soit la méthode. Dans la première

[22] Les tests statistiques ANOVA r alis s sur les donn es sont pr sent s en annexe 1 et 2.

condition avec la méthode AIM, les jugements semblent suivre la position H avec un effet modulé par les autres pics (B et M). Cependant, il n'y a pas d'effet secondaire significatif de l'emplacement relatif des pic B et M par rapp

D'autre part, de manière aux résultats observés pour les stimuli RAMPE et 1PIC, le jugement global obtenu dans la première condition est toujours compris entre la moyenne et le maximum des jugements continus (analyse 6.11 et 6.12).

De plus, il apparaît une interaction significative entre le jugement global dans la première condition et les valeurs maximales et moyennes des jugements continus. Ceci correspond au fait que la moyenne et le maximum des jugements continus ne sont pas sensibles à l'ordre temporel des événements.

Globalement :

- [Moy(Jc) < Jg(1) < Jg(2) << Max(Jc)] pour le groupe 3 avec la méthode
- [Moy(Jc) ≤ Jg(1) ≤ **Jg(2)** << Max(Jc)] pour le groupe 3 avec la méthode AIM, bien que la différence entre le jugement global dans la deuxième et la troisième condition ne soit pas significative.

6.6 Discussion générale

La méthode par appariement inter-modal ainsi que la méthode analogique/catégorielle ont été utilisées pour évaluer le profil des jugements de la sonie associés aux fluctuations temporelles en intensité d'un son pur. Globalement, les deux méthodes fournissent des profils assez similaires sur l'ensemble des stimuli. Les jugements globaux font valeurs apparaître des tendances similaires en fonction des configurations testées quelles que soient la méthode et la condition d'écoute considérée. Toutefois, une observation plus précise des résultats révèle des différences inhérentes aux deux méthodes utilisées et aux stratégies individuelles. De plus, la forme des profils mettant en évidence un asymétrie dans le processus d'estimation de la sonie entre un son pur qui augmente et un son pur qui diminue de manière continue en intensité. Dans les paragraphes qui suivent, nous analysons plus précisément ces différents points.

De manière générale, un décalage temporel apparaît entre le profil des jugements et le profil en intensité, plus ou moins important selon les sujets, et également selon la méthode. Les résultats obtenus par Weber (1991) montrent, globalement, que les écarts temporels entre le contour en intensité d'une séquence sonore testée et la courbe des réponses varient entre 0,5 et 1,5 secondes. Ces valeurs sont similaires à celles que nous

avons obtenue à partir des données individuelles en utilisant la même méthode. D'autre part, le délai de réaction déterminé par Kuwano (1985) est de 1 seconde. Les valeurs moyennes estimées sur les profils obtenus avec la méthode par appariement inter-modal avec la méthode analogique/catégorielle sont respectivement 1,1 et de 0,9 seconde. En tenant compte de ce décalage temporel, le coefficient de corrélation de Pearson évalué, pour chacune des méthodes, entre le profil des jugements continus et le contour en intensité des sons purs, a respectivement pour valeur 0,94 et 0,97.

Deux autres caractéristiques distinguent les deux méthodes : le type des réponses, dépendant de la manipulation des dispositifs, et l'échelle de représen En ce qui concerne le dispositif analogique/catégorielle, la manipulation du curseur n'introduit aucun retour d'effort, ce qui facilite particulièrement des sons présentant des fluctuations rapides. En revanche, pour des fluctuations lentes, entre 10 et 20 secondes (R10, R20, 1P10 et 1P20), les profils individuels se scindent en deux groupes. Certains profils correspondent à des courbes continues ; d'autres, à des courbes discontinues en présentant ce résultat représente un inconvénient à aux deux types d'échelles combinées sur le même dispositif. Notons que le même type de caractéristique apparaît très légèrement dans les réponses de certains sujets avec la méthode par appariement inter-modal (AIM).

Les données issues de la méthode A/C sont représentées sur une échelle segmentée en catégories, dont l'interprétation est réalisée en fonction des dessins niveau associés aux descripteurs sémantiques de l'échelle.

En ce qui concerne le dispositif proprioceptif, l'équation du système masse-levier-sujet est telle que la somme des moments des forces par rapport à l'axe de rotation est nulle si le mouvement est considéré comme quasi stationnaire. C'est le cas lors de la phase d'étalonnage, mais aussi lors d'un suivi en temps réel de sons présentant des fluctuations assez lentes en intensité. En effet, les transformations linéaires qui sont supérieures à une durée de deux secondes (1P5, 1P10 et 1P20) engendrent des variations négligeables de la vitesse de déplacement du levier, et le terme $F_2(t)$ de l'équation 6.5 est négligeable par rapport au terme $F_1(t)$ dépendant de. Dans ce cas, le système peut être considéré comme quasi stationnaire. La fonction d'appariement individuelle obtenue lors de la phase d'étalonnage reste donc valable. Pour ces mêmes signaux 1P5, 1P10 et 1P20, l'amplitude de la vitesse de déplacement du levier est légèrement différente entre une rampe de pente positive et une rampe de pente négative. Les sujets ajustent donc leur force aux fluctuations du stimulus d'une manière légèrement différente en fonction du sens du mouvement effectué. Par conséquent, les profils des jugements en continu ont une forme asymétrique par rapport au point de

vitesse nulle correspondant au point milieu de l'enveloppe. Lorsque la durée de la rampe en intensité est de deux secondes (P2), l'amplitude de la vitesse varie de manière importante, mais cette variation est d'amplitude deux fois équivalente dans variation du dispositif. La courbe correspondante a une forme quasi-symé
Finalement, les résultats paraîtront une limite de la méthode par appariement inter-modal (AIM), dans la tâche de jugement dépendant de la durée de fluctuation des signaux. Pour des variations trop rapides, l'appariement obtenu lors de la phase d'étalonnage ne pourra traiter les jugements en continu. Dans ce cas, un ajustement de la fonction devra être envisagé. Pour des signaux de durées supérieures, les réponses des sujets sont asymétriques par rapport au sens de variation du dispositif. Cette asymétrie augmente avec la durée. Un autre type d'ajustement devra donc être envisagé.
Notons que cette asymétrie apparaît aussi dans les résultats avec la méthode A/C, même si elle est moins importante. Par conséquent, il semble que cet effet persiste quelle que soit la méthode. Les résultats montrent donc qu'un son pur dont l'amplitude de intensité décroît de manière continue est sous-estimé par rapport au même son dont l'amplitude augmente. Un effet semblable a été constaté en comparant un son pur présenté à différents niveaux d'intensité avec le même son dont l'amplitude diminue en continu. Pour un niveau équivalent, le son continu est sous-estimé par rapport au son stationnaire. Cet effet est appelé "décrutement auditif" (Canévet, Scharf, 1990 ; Canévet, Regal, Sauvage, Teghtsoonian, Teghtsoonian, 1999). Il semblerait donc que l'asymétrie observée ne soit pas spécifique aux méthodes utilisées, mais en grande partie la conséquence d'une asymétrie auditive.
Un avantage important de la méthode AIM est d'obtenir une représentation des données sur une échelle exprimée en dB, et donc procure une correspondance immédiate entre le niveau du stimulus testé et le profil des jugements continus. Sur l'ensemble des stimuli, une bonne correspondance entre le niveau estimé en dB et le niveau acoustique en dB.
Cependant, quelle que soit la méthode, la correspondance varie sensiblement avec la durée de la rampe de variation lorsque une même intensité est présentée en amont (60 - 80 dB SPL). Il apparaît donc une dérive temporelle des jugements continus en fonction de la durée de la rampe quelle que soit la méthode d'évaluation. Les valeurs du jugement global augmentent aussi en fonction de la durée de la rampe, et ce quelle que soit la condition expérimentale. Ce résultat est donc valable qu'une tâche de jugement en continu précède ou non l'estimation globale. Ce dernier point met en évidence que l'effet de dérive du jugement global n'est pas une conséquence de

la tâche de jugement en continu. L'effet est un type de tâche. Cet effet peut être traduit par un effet de dérive temporelle continue du processus d'intégration auditive dont le mécanisme reste à élucider.

L'un des principaux objectifs des expériences réalisées consistait à vérifier, dans une tâche de jugement global, l'hypothèse d'existence d'un effet mémonique similaire à l'effet de récence observé dans le domaine de la mémoire (valeurs S4.3.2.4). Les tirées de la courbe de rappel dans une tâche de restitution immédiate après présentation d'une liste d'items (lettres, mots, ...), correspondent aux premiers et derniers items de la liste. Les processus à l'origine de ce résultat correspondent respectivement à un effet de primauté et à un effet de récence. La nature des stimuli utilisés dans nos expériences ne permet pas d'élaborer une hypothèse concernant un effet de primauté lié au début du signal. En revanche, les données recueillies pour les stimuli du troisième groupe (HMB, HBM, MHB, ...) font apparaître des différences significatives dans les jugements en fonction de la distribution temporelle en énergie soulignant ainsi un effet similaire à l'effet de récence. La distribution temporelle peut être caractérisée sur une séquence enregistrée par une mesure du centre de gravité temporelle (CGT)[23]. Les valeurs du jugement global obtenues pour les six configurations dans la première condition avec la méthode AIM évoluent de manière similaire au CGT. Globalement, la position du pic présenté avec le plus élevé (H) dans la trame formée par les trois pics, semble être un facteur dominant produisant un effet de récence. Ce résultat est confirmé par le protocole expérimental à la troisième condition d'une part, et quelle que soit la méthode, d'autre part.

Les données obtenues pour les stimuli du premier groupe (R2, R5, R10 et R20) dont le profil temporel augmente en intensité selon une rampe linéaire, montrent un effet "d'attraction" du jugement global maximal de valeurs en continu. D'un autre côté, les valeurs du jugement global sont translatées vers la moyenne des jugements continus pour les profils temporels symétriques du deuxième groupe (1P2, 1P5, 1P10 et 1P20).

Notons pour finir, que Namba et Kuwano (1985) d'une part, et Fastl (1991) d'autre part, ont proposé, au cours de leurs travaux, deux procédés de calcul d'un indice traduisant les valeurs du jugement global qu'ils obtiennent pour des séquences sonores urbaines (voir chapitre 3). Le calcul de l'indice repose sur l'hypothèse que les événements ayant un niveau sonore prédominant déterminent le jugement global. Les mesures des deux indices prédiraient un jugement global identique pour les stimuli composés de

[23] Le centre de gravit temporel correspond aux amplitudes acoustiques A_i pond r es par les chantillons i d une s quence sonore comprenant f_e.N chantillons, avec f_e la fr quence d chantillonnage et N la dur e de la s quence en secondes.

trois pics que nous avons testé (stimuli 3PICS). Or, globalement les valeurs du juge
varient de manière significative d'un stimulus à l'autre. Ce résultat est en contradiction
avec les modèles proposés par Namba et Kuwano, qui considèrent, quant à eux, que
compte de la distribution temporelle en énergie dans la séquence enregist

Caractéristiques	A/C – Dispositif analogique/catégoriel	AIM – Dispositif proprioceptif
Possibilité d'étalonnage	Non	Oui (durée ≈ 5 minutes)
Type de jugements continus	Analogique (parfois catégoriel)	Analogique
Echelle de représentation	Echelle sémantique interprétée en fonction du niveau acoustique en dB	Equivalence entre niveau estimé en dB et niveau acoustique en dB
Rendu des profils	Bon	Moyen
Variabilité des profils	Faible	Parties stationnaires
Temps de réactio	0,9	1,1
Différence montée/descente	Augmente avec la durée	Augmente avec la durée
Résolution de l'échelle	Faible	Bonne
Appréciation des sujets*	Bonne – Incertitude entre deux catégories	Bonne – Intuitif
Type de séquences*	Rapides – Séquences sonore urbaines	Lentes – Accélération de voiture

(*) Informations recueillies en partie à partir d'un entretien avec les sujets en fin d'expér

Tableau 6.1° : Comparaison entre les deux m thodes A/C et AIM.

6.7 Conclusion

En conclusion, les stimuli utilisés dans les conditions expérimentales testées, quelle que soit la méthode, ont permis de révéler trois effets spécifiques dans une tâche de jugement en intensité de sons non stationnaires. Premièrement, les résultats mettent en évidence un effet de dérive temporelle des jugements qui dépend de la durée d'émergence de signaux de quelques secondes, pour une variation linéaire donnée en intensité acoustique. Deuxièmement, les profils de jugements en continu font apparaître une asymétrie de la sonie entre une augmentation et une diminution pour en de 1000Hz. Troisièmement, il apparaît une non négligeable de fonction de la distribution temporelle acoustique du signal est l'importance de l'effet est fonction de la distribution temporelle des émergences de niveau acoustique élevé. Dans l'élaboration d'un modèle de prédiction, il sera donc nécessaire de tenir compte d'une combinaison des niveaux les plus élevés, de leur distribution temporelle et de leur durée d'émergence. Un autre indice pourrait être une mesure du taux de variation de l'enveloppe temporelle. Nous préciserons cet indice dans l'étude des sons "naturels" séquences sonores urbaines (chapitre 7) et phase d'accélération de véhicu

Dans le tableau tableau 6.1, nous énumérons différents points de comparaison entre les deux méthodes utilisées pour évaluer en temps réel et globalement sons de pur de 1000 Hz et non stationnaires en intensité.

Les profils de sonie obtenus avec la procédure d'estimation en continu par appariement inter-modal traduisent de manière satisfaisante les stimuli testés. Nous n'avons pas procédé à un examen exhaustif de validation de la procédure dans une tâche de jugement en continu, car la finalité visée est d'étudier les phases d'accélération sons de voiture. Toutefois, ces premiers résultats sont assez cohérents pour envisager l'application de la procédure à d'autres types de signaux.

7 Evaluation de la sonie de séqu sonores extraites de l'environ urbain[24]

Jusqu'ici, nous avons procédé à partir de 1000 Hz pour ne pas paraître au lecteur bien élémentaire et très éloignés des situations sonores quotidiennes. Cependant, dans un souci de rigueur psychophysique, nous avons ainsi validé la méthode par appariement inter-modal (AIM) en utilisant le dispositif proprioceptif proposé au chapitre 5. D'autre part, la méthode AIM a été comparée, dans une certaine mesure, avec la méthode d'évaluation en continu analogique/catégorie (A/C) en ce qui concerne l'évaluation de la sonie (voir chapitre 6). Quelle que soit la méthode, l'hypothèse concernant un effet de récence dans une tâche de jugement global est-elle suffisante sur une durée déterminée a été vérifiée. Cette première étape était donc nécessaire afin de tester différentes méthodes et d'étudier les aspects temporels dans les tâches réelles de jugement global d'un stimulus présentant des variations en intensité. Dans un deuxième temps, il est maintenant souhaitable d'appliquer la procédure par appariement inter-modal (AIM) à des sons "naturels" afin de converger vers la finalité du projet de recherche, c'est-à-dire l'étude perceptive des sons de véhicules en phase d'accélération. En conséquence, dans ce chapitre, la procédure développée (AIM) est appliquée à des enregistrements d'ambiances sonores urbaines. L'intérêt est double. Très réalisées sur l'évaluation en continu sont souvent basées sur ce type de signaux, et ceci afin d'établir une relation entre le jugement global et les jugements continus en intensité acoustique, l'objectif étant de définir un critère qui semble de prendre compte de

[24] Le travail présenté dans ce chapitre est le fruit d'une collaboration avec Valérie Maffiolo effectuant une thèse sur la caractérisation perceptive des sons urbains de la ville de Paris, en Acoustique Appliquée de l'Université du Maine, au Laboratoire d'Acoustique Musicale (LAM). Les sons fournis uniquement dans le cadre de la collaboration sont ceux utilisés par Valérie Maffiolo dans sa thèse. Les expériences se sont déroulées à l'Ircam avec la méthode d'évaluation en temps réel par appariement proprioceptif. Les résultats ont été présentés au congrès Forum Acusticum - ASA à Berlin, en mars 1999, dans la communication intitulée : "Loudness evaluation by a cross-modal matching method" Susini, P. et Maffiolo, V.

l'intensité perçue de séquences sonores de longue durée. Il sera donc intéressant de comparer nos résultats avec ceux existants dans la littérature. D'autre part, l'étude sur les sons de l'environnement fournira un point de comparaison des expérimentales différentes : une approche par catégorisation libre (Maffiolo, Castellengo, Dubois, 1998) et une approche psychophysique.

7.1 Introduction

La plupart des connaissances concernant les sons stationnaires présentés à un niveau acoustique constant comme par exemple les sons issus d'objets domestiques ou de sources d'équipements : bruit d'un aspirateur, d'un convecteur d'air climatisé, d'un ventilateur d'ordinateur, etc... Nous savons déterminer la sonie de ce type de sons en fonction du niveau sonore, de la composition fréquentielle (Scharf, 1978). De la durée en est de même pour d'autres critères psychoacoustiques comme l'acuité, la rugosité ou encore la tonie (Zwicker, Fastl, 1990). En revanche, nous avons peu de connaissances sur la sonie des sons présentant des fluctuations intensitées. Or, ce type de son correspond à un grand nombre de sources présentes dans notre environnement dont le niveau augmente et diminue au cours du temps. C'est le cas, lorsque nous sommes plongés dans une ambiance sonore urbaine où une multitude de sources sonores évoluent, se transforment et ainsi nous fournissent une information auditive sur les actions qui se produisent autour de nous : le passage d'une voiture, le mécanisme d'une benne à ordures, les équipements de nettoyage de la voirie, etc ...

D'autre part, il existe de nombreuses situations, surtout dans un contexte multiexposition, où un ensemble de sources émettent simultanément. Comment évalue-t-on la sonie de ce type de mixture sonore? Différentes études montrent que l'ensemble des sujets s'accordent sur le son dominant en intensité ou encore sur le son la plus importante (Ollerhead, 1978; Berglund, 1981; Vos, 1992; Ronnebaum, Schulte-Fortkamp, Weber, 1997). De manière similaire, pour une séquence sonore de longue durée dans laquelle les événements se succèdent, les études réalisées par Kuwano (1985), Fastl (1991) et Gottschling (1999) ont montré que le jugement global de la sonie dépend des sources acoustiques dominantes en intensité (voir chapitre 3, §3.3.1

Dans ce chapitre, nous évaluerons en continu et globalement la sonie de séquences sonores. Ces séquences correspondent à des ambiances sonores urbaines enregistrées qui proviennent de deux études antérieures réalisées conjointement par Maffiolo (1997) et Vogel (1997). Les séquences présentées sont en paragraphe 7.2. A partir d'une tâche de catégorisation libre et d'une tâche libre, une classification des séquences

été réalisée par Maffiolo (1998) en deux grandes catégories comprenant respectivement des séquences dites "amorphes" et "événementielles" (§7.3). L'une consistera à examiner s'il existe un ensemble de classes de profils de l'intensité sonore en continu qui correspondrait à la classification réalisée selon la détermination acoustique des profils. L'évaluation de la sonie des séquences, la méthode d'estimation par appariement inter-modal par proiection sera utilisée (§7.4). Cette méthode permet d'évaluer en temps réel les contours d'intensité d'un stimulus ainsi que l'intensité globale perçue sur toute la durée du son. Une phase préliminaire consistera à calibrer individuellement la méthode à l'aide de stimuli extraits des séquences testées (§7.5). Nous vérifierons si la fonction de la sonie obtenue avec des sons complexes correspond de nouveau à une fonction de puissance. Puis, les jugements sur les séquences seront réalisés dans trois conditions expérimentales différentes correspondant à trois types d'écoutes déjà décrits. Dans le paragraphe 7.7, nous présenterons une analyse des fluctuations temporelles des jugements continus obtenus pour chacune des séquences.

7.2 Constitution d'un corpus d'ambiances sonor

7.2.1 Détermination des ambiances sonores urbaines

La description et l'analyse d'un paysage sonore ou d'un itinéraire acoustique indiquent le climat sonore et les sons caractéristiques perçus soit par leur individualité, par leur nombre, soit par la dominance qu'ils exercent. Schaffer (1979) propose de grouper les diverses sources sonores en établissant un classement en trois catégories : la tonalité, les signaux et l'empreinte sonore.

La "tonalité" correspond au "fond" sonore, nécessairement perçu de manière consciente - on l'entend sans l'entendre. Elle est fonction de la situation climat : eau, vent, forêt, plaines, port, ville.

Les "signaux" sont les sons de premier plan, que l'on écoute consciemment. Ce sont les "figures" qui se distinguent du "fond". Les signaux porteurs d'un avertissement, d'une action, ce sont ceux que l'on doit écouter, qu'ils soient cloches, sifflets, sirènes ou crissements de freins.

L'empreinte sonore correspond à un son unique auquel est associée une qualité de durée. Les empreintes sonores font tout particulièrement remarquer ou prendre en considération par les individus : le tintement aigu et saccadé des taxis à Istambul, la trompe du ferry qui traverse continuellement le port de Marseille.

Dans sa démarche, Maffiolo (1997) n'a aucun a priori sur le type et le nombre de catégories de séquences sonores urbaines. Dans un premier temps, elle a réalisé une étude lui permettant de sélectionner des ambiances sonores caractéristiques de la ville étudiée : Paris. La démarche adoptée repose sur la méthode d'Amphoux (1991) qui tient compte des dimensions acoustiques, topologiques et socioculturelles de la ville. Le principe retenu consiste à réaliser ce qu'Amphoux nomme les "cartes menta

Dans une première étape, il est demandé au sujet de répondre graphiquement à la question : "Qu'est-ce que le Paris sonore pour vous ?". Le sujet réalise un dessin puis le commente. Quatre types d'interprétation dans le rapport à la représentation de l'espace sonore se dégagent (voir Maffiolo, Vogel, Polack, Castellengo, Dubois, David, 1997) : une description des sources de bruits (cheveux, moteurs), une identification de lieux précis dans les sujets se projettent (rue de Rivoli, place de la Bastille), une représentation d'une cartographie "sonore" de la ville de Paris et une production de schémas abstraits dont l'interprétation des sujets est impérative.

Puis, le sujet s'exprime sur des phénomènes sonores vécus.

Ainsi, cette procédure a permis de déterminer des lieux correspondant aux ambiances sonores caractéristiques de la ville de Paris dès jours. L'enregistrement de ces lieux a servi de support pour le reste de l'étude.

7.2.2 Enregistrement des ambiances sonores urbaines

L'étude de séquences sonores de l'environnement nécessite une très bonne qualité de la prise de son afin de reproduire le contexte sonore le plus proche possible de la vie quotidienne, l'objectif qu'en situation de laboratoire les sujets puisse reconstituer au mieux la scène lors de la diffusion des séquences enregistrées. En d'autres termes, il est nécessaire que les auditeurs réagissent comme s'ils étaient réellement in situ. Le but du travail effectué par Vogel (1997) a été de sélectionner des techniques d'enregistrement adaptées aux ambiances urbaines, qui permettent donc de conserver le caractère "écologiquement valide" des échantillons sonores.[25] Une prise de son stéréophonique a été choisie. Différents microphones (cardioïde, fracardioïde et omnidirectionnel) ainsi que plusieurs écartements entre les microphones ont été testés. Les résultats ont montré que

[25] Le terme cologiquement valide signifie ici qu'il faut essayer de donner l'auditeur "l'illusion cr dible qu'il existe entre et au-del des enceintes, un environnement acoustique dans lequel des sources sonores recr es peuvent tre localis es et dissoci es dans l'espace" (Hugonnet, Walder, 1995) (voir Vogel, Maffiolo, Polack, Castellengo, 1997)

certaines configurations - microphones/écartement de l'ordre d'un point de vue "écologique".

Le test consistait à présenter par paires chaque séquence enregistrée simultanément avec deux configurations différentes à un niveau sonore équivalent. Les sujets devaient estimer dans laquelle des deux configurations ils s'intégraient le mieux. Quelque soit l'ordre de présentation dans une paire, les auditeurs avaient tendance à choisir la deuxième séquence. Ce résultat semble correspondre à un biais expérimental de la procédure. Il est possible qu'il soit lié à un apprentissage de la séquence en cas de la deuxième configuration d'une même paire, qu'il soit la conséquence d'un oubli progressif de la première séquence par rapport à la deuxième étant donné la durée de chacune (environ 1 minute). Cependant, ces résultats n'ont pas été produits par l'ordre de présentation. Ainsi Vogel déduit que la configuration avec 70 cm d'écartement convient pour des ambiances de circulation dans lesquelles les sources sont en mouvement, ni pour des ambiances de jardins publics. La prise de son retenue est la configuration avec deux microphones électrostatiques cardioïdes (Schoeps MK6) écartés de 60 centimètres avec un angle d'ouverture de 100 degrés. Le système d'enregistrement est un DAT portable.

Cette configuration a été utilisée pour enregistrer les préliminaires de Maffiolo (1997).

7.2.3 Corpus des séquences sonores

Seize séquences stéréo échantillonnées à 44.1 kHz de durées comprises entre 13,65 et 20,3 secondes ont été utilisées dans le cadre de cette expérience. Les événements acoustiques principaux composant chacun des sons sont décrits dans le tableau 7.1. Ces descriptions proviennent des commentaires effectués par les sujets lors du test de catégorisation présenté au paragraphe 7.3.

Son	Dur e (s)	Leq (dBA)	Description des types de sources (Maffiolo, Th se, 1999)
1	15.5	64.4	- moto - klaxon - moteur - paroles - circulation
2	16.3	68.7	- moto - grincement de freins - circulation
3	14.3	62.8	- moteur - circulation - ambiance urbaine sans source dominante
4	14.4	63.4	- bruit de moteur - grincement de freins au loin - voiture l arr t - crissements - circulation
5	16.1	68.3	- sir ne de police - klaxon (nervement) - crissement de pneus - moto
6	18.3	66.5	- ambiance de parc (chant d'oiseau) - d marrage moto (p tarade) - klaxon au loin
7	17.6	63.9	- l ger grincement de freins - moteur - ambiance urbaine sans source dominante
8	15.5	65.8	- l ger grincement de freins - circulation - ambiance urbaine sans source dominante
9	16.7	68.9	- passage de bus - voiture isol e - bruit de pas sur la chauss e (talons) - marteau piqueur
10	17.5	75.3	- d marrage de bus - passage de bus et moto - klaxon bref - marteau piqueur - travaux
11	15.0	66.6	- voiture l arr t - circulation - ambiance urbaine sans source dominante
12	13.6	67.3	- passage de voitures et de motos au loin - circulation - moteur - pi tons
13	15.3	69.0	- circulation - moteur - pi tons
14	20.3	66.7	- circulation - moto - moteur
15	16.3	66.6	- circulation -route - moteur
16	19.8	59.5	- bourdonnement - pas de circulation

Tableau 7.1˚: Description des s quences utilis es en fonction des commentaires des sujets (Maffiolo et al., 1998)

7.3 Catégorisation des ambiances sonores urbai

La méthodologie adoptée par Maffiola afin de caractérise les ambiances sonores se développe en différentes phases (Guyot, Castellengo, Yogel, Maffield, 1996) dont la principale consiste en une procédure de catégorisation. La tâche demandée aux sujets consiste à grouper librement les objets (séquences sonores) selon des catégories équivalentes, en fonction de l'intensité perçue. Aucune contrainte n'est imposée sur le nombre de catégories et le nombre de séquences par catégorie. Une fois les catégories obtenues, le sujet les décrit verbalement (Rosch, 1978). La durée moyenne d'une expérience est d'une heure (Maffiola, Castellengo, Dubois, 1998). Une analyse statistique permet d'évaluer la fréquence d'appariement de deux objets dans une même classe. Ainsi, une matrice de similarité individuelle est obtenue à partir de la classification. Finalement, les résultats sont représentés par une arborescence (ADDTREE) traduisant la matrice cumulée sur l'ensemble des sujets. L'arbre obtenu (voir figure 7.1) se caractérise par des feuilles qui sont les objets étudiés (séquences sonores) et par des nœuds qui sont des prototypes virtuels des différentes catégories qui ont été créées. Chaque nœud représente une entité qui partage avec un groupe d'objets les caractères communs aux membres de ce groupe. Les branches des arbres sont des segments avec une longueur variable assimilable au degré de ressemblance entre les objets. Une branche ne correspond pas à une distance euclidienne.

En ce qui concerne les séquences sonores utilisées, les résultats sont figurés 7.1. Les nœuds virtuels calculés par l'algorithme sont A1, B1, E1, D1, C1, F2 et G2. La formation d'un arbre s'opère en une succession d'itérations. La pertinence des catégories formées décroît avec le numéro de l'itération. Le dernier chiffre correspond au nombre d'itérations. Sur la figure 7.1, les objets (séquences sonores) sont numérotés de 1 à 16. Dans cette représentation, la similarité entre les objets 10 et 16 correspond au chemin suivant :

(10 --> E1)+(E1 --> F2)+(F2 --> G2)+(G2-->16)

Finalement, il apparaît que les séquences sonores sont groupées en fonction de leur caractère "événementiel" (2, 5, 9, 10) ou "amorphe" (11, 8) (voir Maffiola, Castellengo, Dubois, 1998). En d'autres termes, les séquences sont caractérisées par un ensemble d'événements discernables identifiables par un bruit de fond continu avec peu ou voire aucune source sonore spécifique.

Dans la suite, nous appliquerons la méthode d'évaluation en continu par appariement inter-modal (AIM) afin d'évaluer le profil temporel en sonie de ces séquences. En fin de chaque séquence, une évaluation globale de l'intensité perçue sera demandée. Ainsi nous examinerons la relation entre les jugements continus et le jugement global, d'une part, et d'autre part, nous comparerons les profils obtenus avec les catégories révélées par la tâche de catégorisation libre.

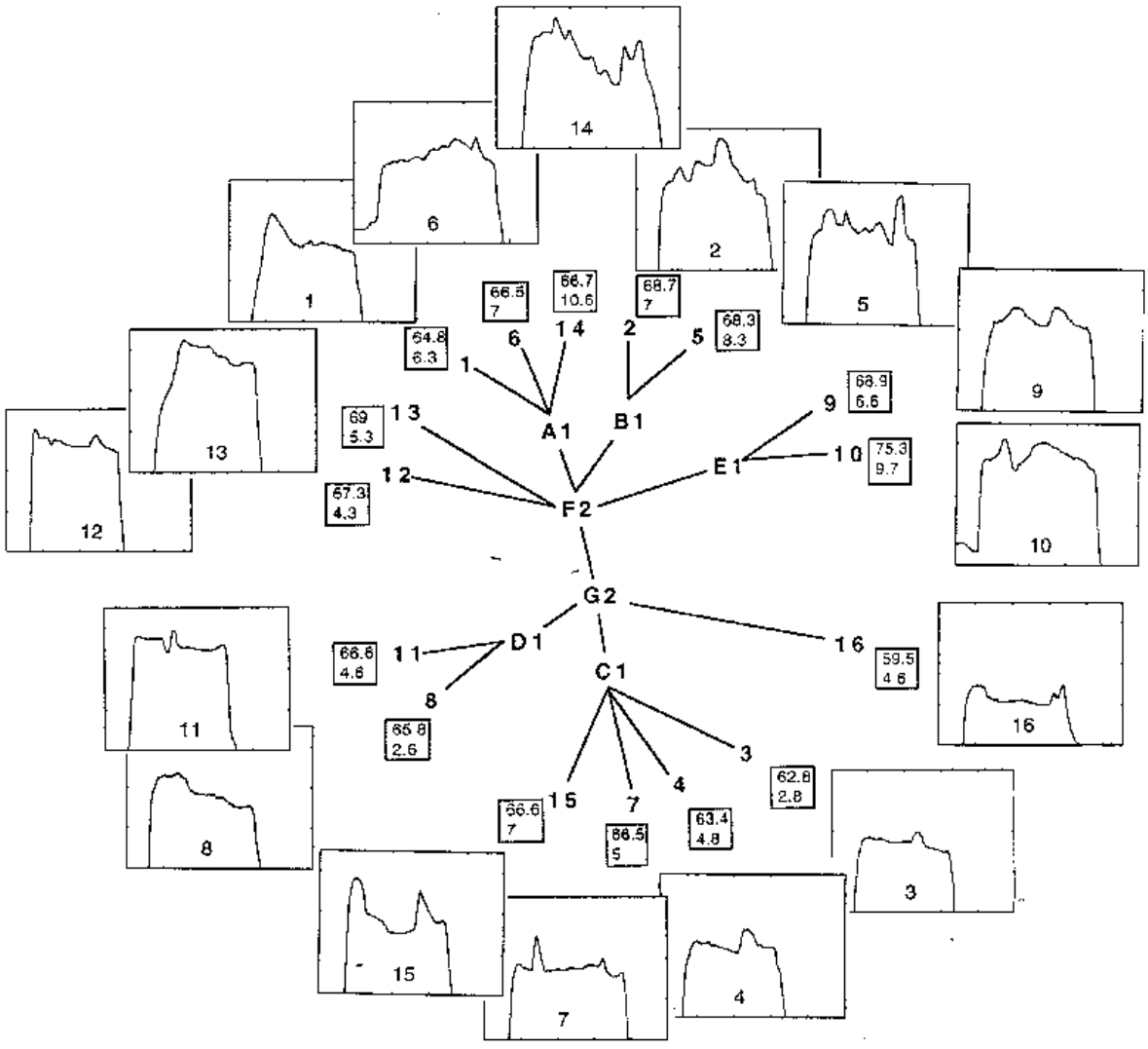

Figure 7.1° : Repr sentation des profils de jugement en intensit moyenn s sur l ensemble des sujets pour chacune des s quences de l'arborescence obtenue par Maffiolo (1998) partir d'un test de cat gorisation sur le crit re de l'intensit acoustique. Pour les profils° : l ordonn e correspond au niveau estim en dB et l abscisse repr sente le temps en secondes. Pour l'arbre° : les lettres correspondent aux n˘uds virtuels cr s par le programme d'analyse ADDTREE, et les chiffres correspondent aux feuilles de l'arbre c'est- -dire le num ro des s quences sonores tudi es. Le niveau en dBA et la valeur de l'indice de fluctuation IF (voir /7.7.1) sont indiqu s pour chaque s quence.

7.4 Méthode par appariement inter-modal

La méthode par appariement inter-modal consiste à égaliser perceptivement deux modalités sensorielles différentes. Elle détermine une fonction d'égalisation qui indique les valeurs sensorielles d'une modalité en fonction des valeurs d'une autre modalité. On peut ainsi obtenir une relation entre les intensités physiques correspondant à chacune des modalités.

7.5 Etalonnage et fonction psychophysique indi

7.5.1 Sujets

Un groupe de 9 sujets a participé à l'ensemble de l'expérience (6 hommes et 3 femmes âgés de 28 et 32 ans. Chacun des sujets a préalablement suivi un entraînement sur chacune des tâches : trois séries au moins pour l'étalonnage et quelques minutes pour les trois conditions. Aucun des sujets n'a mentionné avoir une déficience auditive.

7.5.2 Stimuli

Pendant la phase d'étalonnage, cinq sons de une seconde extraits des ambiances sonores urbaines sont utilisés. Les sons nommés A1, B1, C1, D1 et E1 ont respectivement un niveau initial de 72,1, 70,7, 66,9, 67 et 66,8 dB SPL. Chacun des stimuli est atténué de *n* dB par rapport au stimulus d'origine avec *n* = [5, 10, 15]. Les cinq sons d'origine sont donc diffusés à quatre différents niveaux. Le tableau 7.2 procure une description des stimuli utilisés.

Son	Niveau dB SPL	Description
A1	72.1	- bruit de moteur de camion en champ proche (d marrage), - basses fr quences (200 - 600˚Hz)
B1	70.7	- bruit de moteur de camion en champ proche (passage), - tr s basses fr quences (0 - 300˚Hz)
C1	66.9	- grincement de freins de camions, aigu
D1	66.98	- crissement de pneu - bruits de circulation (0 - 100˚Hz et 700 - 800˚Hz)

E1	66.8	- klaxon, m dium - bruit de circulation - petit grincement de freins

Tableau 7.2° : Description des stimuli utilis s lors de la phase d talonnage.

7.5.3 Appareillage

Le dispositif expérimental est identique à celui décrit précédemment (chapitres 5 et 6), à l'exception du système de diffusion. Les sons après avoir été amplifiés sont diffusés sous enceinte Tannoy type 633. Les sujets, placés dans la cabine audiométrique (Solus 81), sont à 1m 50 des enceintes afin que soit reconstitué un environnement expérimental similaire à celui mis en place par Maffiolo (1998). La distance entre les enceintes est de 1m50, ce qui correspond à une configuration en triangle équilatéral.

7.5.4 Procédure

La procédure expérimentale est celle décrite au paragraphe 6.3.4. Une série complète correspondant à la diffusion des 20 stimuli durée environ 60 sec est répétée trois fois pour chaque sujet afin qu'il se familiarise avec la procédure par appariement inter-modal.

7.5.5 Transformation des échelles individuelles

Pour chacun des sujets la fonction d'appariement individuelle entre la force apparente (f) et l'intensité physique perçue (l) est obtenue par la procédure décrite précédemment. La fonction individuelle caractérisée par le couple (a_i, b_i) est donc exprimée de la manière suivante :

$$\log_{10} \Phi_f = a_i \log_{10} \Phi_l + b_i \qquad (7.1)$$

Le tableau 7.3 présente les couples (a_i, b_i) pour l'ensemble des 9 sujets. L'observation des fonctions individuelles et le coefficient de corrélation moyen (obtenu avec dl = 18) caractérisant la correspondance entre les données et la fonction de puissance associée pour chacun des sujets à l'exception du sujet 5.

Sujet n°	a_i	b_i	r(dl°=°18)
1	0.41	-0.68	0.92
2	0.52	-1.33	0.91
3	0.08	0.91	0.84
4	0.47	-1.04	0.89
5	0.30	-0.65	0.62
6	0.68	-2.10	0.90
7	0.44	-1.06	0.88

8	0.84	-2.73	0.90
9	0.18	0.33	0.92

Tableau 7.3°: Fonctions de puissance individuelles d finies par les couples (a_i, b_i). La valeur r correspond au coefficient de corr lation entre les donn es et la fonction de puissance pour chacun des sujets.

7.6 Expérience 8 : rappel des conditions

Après avoir évalué les fonctions psychophysiques d'appariement inter-modal individuelles (étalonnage individuel, §7.5), l'expérience se déroule en trois phases correspondant respectivement à trois conditions différentes d'écoute similaires à celles présentées au paragraphe 6.4.2. Tous les sujets ont passé les trois conditions dans

- Condition 1 : Les auditeurs écoutent les sons tout en suivant leur évolution temporelle avec le dispositif, c'est-à-dire en associant à chaque instant une force équivalente à l'intensité acoustique perçue. Puis, il leur est demandé d'évaluer à la fin de chacun des sons l'intensité globale perçue sur la durée totale en associant une force musculaire équivalente. Cette condition correspond à une écoute attentive en c
- Condition 2 : Les auditeurs écoutent les sons et évaluent à la fin de chacun d'eux l'intensité globale perçue de la même manière que dans la première condition. Ici, l'auditeur n'est pas contraint d'être attentif à chaque instant aux
- Condition 3 : Les sujets doivent réaliser une tâche distractrice (§4.7) qui est à la fois visuelle, linguistique et motrice, pendant la fin de présentation, leur est demandé de donner une évaluation globale de manière similaire aux conditions précédentes. La consigne donnée avec insistance aux sujets est de se concentrer sur la tâche distractrice. La tâche consiste à recopier un texte diffusé pendant q la fin de chaque sujet s'arrête d'écrire et donne son jugement global. Lorsque le son suivant est diffusé, le sujet retranscrit de nouveau le texte à partir du mot sur lequel il s'était arrêté. Dans cette condition, il est demandé au sujet de s'imaginer être assis à une terrasse de café en train d'écrire un texte et de juger au bout de quelques secondes le niveau acoustique de l'ambiance sonore à laquelle il est soumis. Le même texte est fourni à chaque sujet.

Pendant l'expérience, le sujet ne visionne pas l'écran de contrôle. Le clavier, accordé à l'écran, est placé à côté de lui ; sur sa gauche s'il est gauchier ou droitier. Lorsqu'il est prêt, il déclenche l'expérience en appuyant sur l'une des touches du clavier tandis que l'autre main repose sur la poignet du dispositif. Puis deux pur de 400 Hz est diffusé à deux secondes avant que le son test soit diffusé,

afin que le sujet ne soit prêt à donner son évaluation en temps réel. Le même signal est diffusé à la fin du son pour l'inciter à faire son jugement global. Il v appuyant sur l'une des touches du clavier.

7.7 Résultats

7.7.1 Jugements continus[26]

La méthode par appariement inter-modal proprioceptif a été utilisée afin de déterminer les contours en sonie de sons de quelques secondes extraits de l'environnement urbain. Les contours, représentés sur la figure 7.1, montrent des variations plus ou moins importantes selon les séquences considérées. La description des séquences dans le tableau 7.1 indique que certaines ne faisaient pas une source dominante. C'est le cas des séquences 8, 11, 13, et 16 dans lesquelles aucun événement n'émerge particulièrement, si certains sont identifiés à un niveau beaucoup plus faible. Au contraire, les autres séquences sont composées de plusieurs sources discernables qui provoquent des variations du niveau acoustique assez importantes : Klaxon, freins, grincement, sirène, marteau-piqueur, démarrage de bus. Ces variations sont retranscrites par les contours des jugements en continu. D'autre part, le degré de fluctuation pour un stimulus donné varie d'un sujet à l'autre. En effet, deux types de jugement apparaissent : certains sujets discernent de manière nette les sources successives d'une séquence. Pour d'autres, la distinction est moins marquée sur la figure 7.2 qui présente les profils des sujets 4 et 7 pour la séquence 5. Les différentes sources qui s'y succèdent sont dans l'ordre : le passage d'une voiture, le crissement de freins, un Klaxon légèrement éloigné et un Klaxon au premier plan. Le profil des jugements en sonie produit par de bien discriminer les quatre principales sources. Les niveaux crêtes de chaque pic sont plus élevés que ceux retranscrits dans le profil du sujet 4. Afin de quantifier de manière systématique ces différences, un indice (IF) rendant compte du degré de fluctuation des profils des jugements continus est évalué sur le profil de chaque séquence produit par chaque sujet (voir équation 7.2). La figure 7.3 obtenue représente les fonctions des sons et des sujets. Ainsi pour les sujets 4 et 7, les valeurs moyennes de l'indice sont respectivement 7 et 16,3. Les valeurs (IF) plus élevées sont obtenues pour les

[26] Pour simplifier la lecture dans la suite du texte, nous adoptons la notation suivante°:

- **Jg(1,2,3) : Jugement global dans la premi re, deuxi me ou troisi me condition**
- **Jc : Jugements continus**
- **Moy : Moyenne**
- **Max : Maximum**

séquences 10 et 14. Les valeurs les plus faibles sont obtenues pour les séquences 3 et 8. Dans l'étude réalisée par Maffiolo (1999), indépendamment un groupe caractérisé par des séquences dites "amorphes" (nœud G2), l'autre par des séquences dites "événementielles" (nœud F2). Or, globalement, il apparaît élevées vale l'indice de fluctuation (IF) correspondant aux séquences dites événementielles (nœud F2) sans pour autant qu'il y ait discontinuité des valeurs de l'indice IF correspondant aux deux grandes catégories. Ceci souligne que l'indice de fluctuation IF permet de distinguer les séquences entre elles selon un axe mais ne distingue pas deux classes bien distinctes de profils. Les valeurs de l'indice IF sont retranscrites :

$$IF_j^i = \sum_{n=1}^{N} \left| \frac{\Delta f_j^{i}(n)}{\Delta(n)} \right| \cdot \frac{1}{f_j^{i,\max}} \qquad (7.2)$$

avec N = nbre d'échantillons de $f(n)$, i = stimulus et j = sujet.

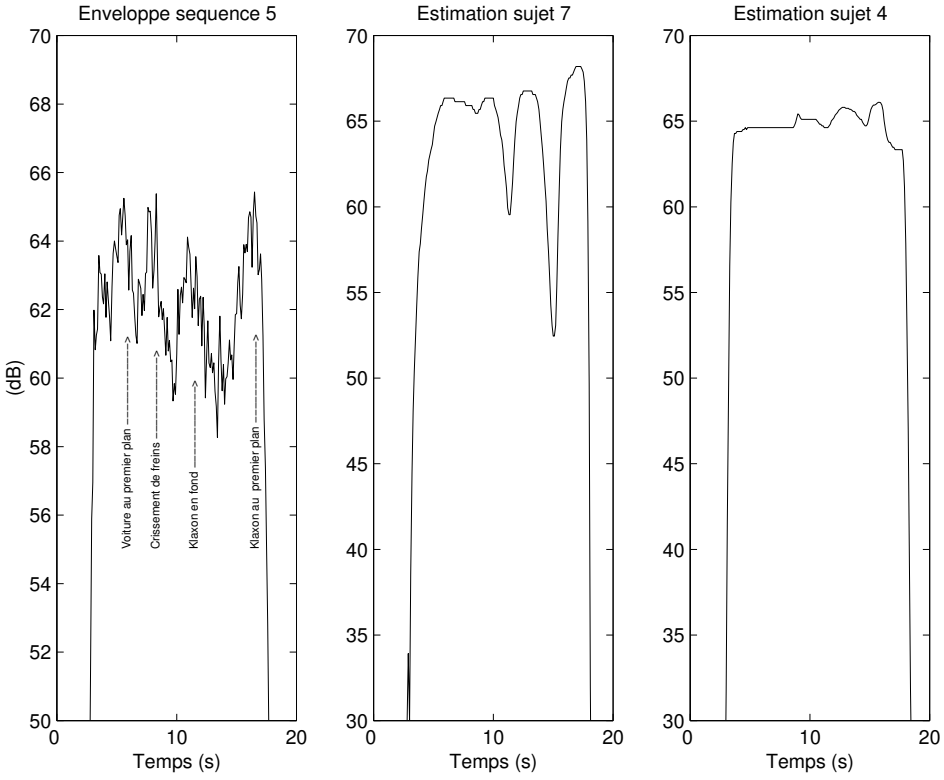

Figure 7.2˚: Comparaison des profils des jugements continus des sujets 4 et 7 avec l enveloppe temporelle de la s quence n¡5.

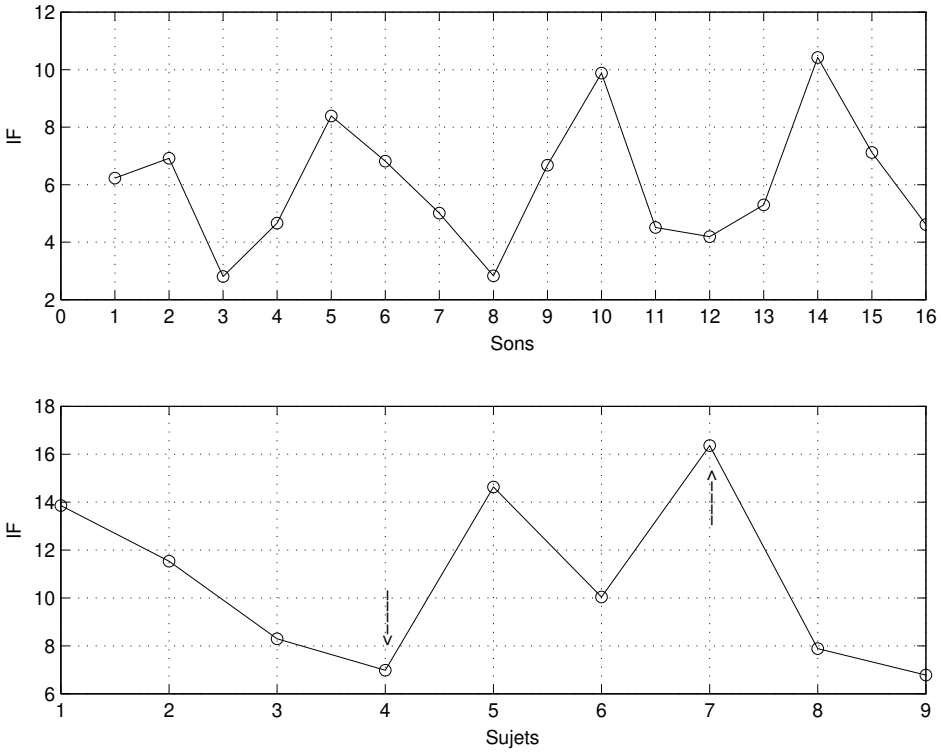

Figure 7.3° : Indice de fluctuation (IF) pour chacune des s quences sur l'ensemble des sujets (figure du haut). Indice de fluctuation (IF) pour chacun des sujets sur l'ensemble des s quences (figure du bas).

7.7.2 Jugement global

7.7.2.1 Comparaison entre les trois conditions

Les valeurs du jugement global pour chacune des séquences sont représentées sur la figure 7.4 dans la condition 2 en fonction de la condition 1 ($r = 0,971$; $ddl = 14$), dans la condition 3 en fonction de la condition 1 ($r = 0,781$; $ddl = 14$) et dans la condition 3 en fonction de la condition 2 ($r = 0,841$; $ddl = 14$). Le stimulus 16 est jugé nettement plus faible, environ 7 dB de moins, que les autres stimuli. Etant donnée cette différence, les corrélations entre les jugements obtenus dans les trois conditions ont été réévaluées sans tenir compte du stimulus 16 dont la présence peut augmenter de manière artificielle le coefficient de corrélation. Les données représentées en bas de la figure 7.4 ne font apparaître qu'une légère différence. Globalement, les résultats montrent une bonne correspondance entre les jugements obtenus dans la première et la deuxième condition. Cette correspondance est moins nette entre la troisième condition et les autres. En effet, l'observation des données fait apparaître une grande dispersion lorsque la troisième condition est représentée en fonction de la première ou de la deuxième c

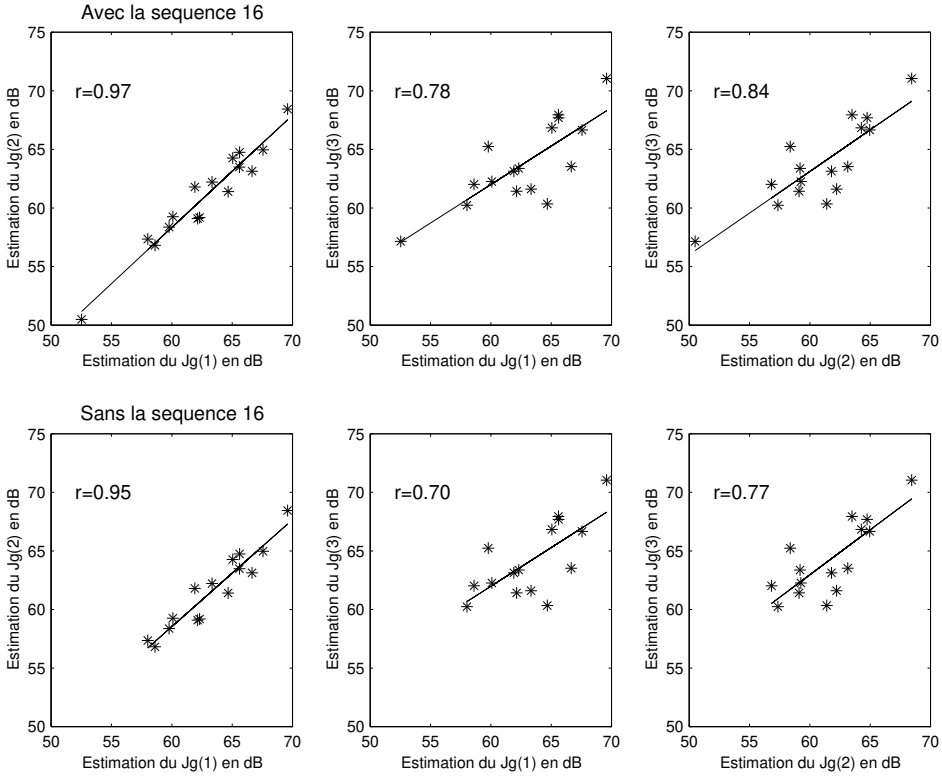

Figure 7.4˚: Repr sentation de l'estimation en dB du jugement global obtenu dans la condition 2 par rapport la condition 1, la 3 par rapport la 1, et la 3 par rapport la 2. Sur les figures du bas sont repr sent s les m mes r sultats sans le stimulus n¡16.

7.7.2.2 Jugement global vs jugement continu

A partir de la moyenne des profils des jugements continus, les valeurs moyenne et maximale sont calculées pour chaque séquence. Sur la figure 7.5, ces données sont représentées et comparées avec les valeurs du jugement global obtenu dans la première condition. Il apparaît une grande similitude entre les valeurs moyennes et les valeurs du jugement global. Les valeurs maximales sont systématiquement plus élevées. L'observation des jugements correspondant aux trois conditions, en fonction de la valeur maximale (Figure 7.6 en haut) et de la valeur moyenne (Figure 7.6 en bas) évaluées pour chacune des séquences confirment le résultat observé sur la figure 7.5. La valeur moyenne des jugements continus produit une bonne estimation de la valeur du jugement global. Les jugements obtenus dans la première et la deuxième condition sont corrélés respectivement à 0,92 et 0,87 avec la valeur moyenne des jugements continus. Globalement, la valeur maximale des jugements continus surestime légèrement la valeur du jug

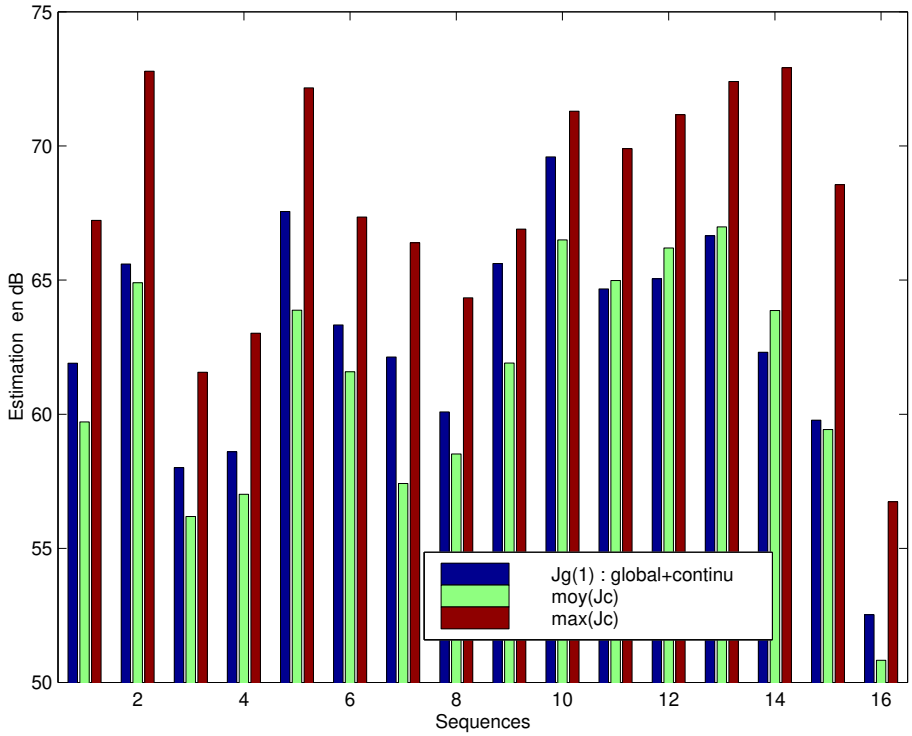

Figure 7.5˚: Repr sentation de l'estimation en dB du jugement global obtenu dans la condition 1 compar avec le maximum (Max(Jc)) et la moyenne (Moy(Jc)) des jugements continus exprim s en dB.

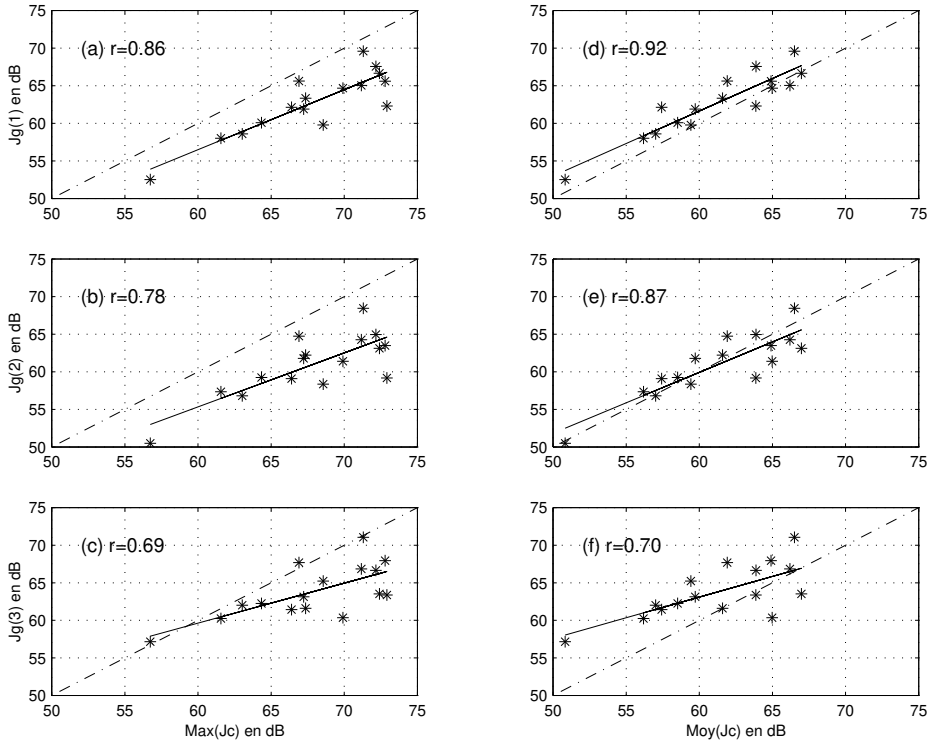

Figure 7.6˚: Repr sentation de l'estimation en dB du jugement global obtenu dans les conditions 1, 2 et 3 en fonction du maximum not Max(Jc) (figure˚a-c) et de la moyenne not e Moy(Jc) (figure˚d-f) des jugements continus.

La valeur du coefficient de corrélation entre ces données a de nouveau été estimée sans tenir compte du stimulus 16. Les jugements obtenus dans la première condition sont toujours bien corrélés (r = 0,87) avec la moyenne des jugements continus. En revanche, les valeurs des jugements obtenus dans la troisième condition sont nettement moins bien corrélées avec la moyenne (r = 0,57) et le maximum (r = 0,56) des jug

7.7.2.3 Jugement global vs mesure du L_{eq} en dBA

Les valeurs du jugement global obtenues dans 2 les conditions sont présentées sur la figure 7.7 en fonction de la mesure du L_{eq} en dBA des séquences sonores. Les valeurs des coefficients de corrélation sont équivalentes dans les deux cas (r = 0,91; = 141). La mesure du L_{eq} en dBA procure donc une bonne estimation des différences perçues de niveau entre les séquences sonores testées. Cependant, cette mesure, comparée aux estimations obtenues par appariement, surestime fortement le niveau des stimuli à l'exception toutefois des séquences 10, 11, 12, et 14 (figure 7.8). Il est intéressant de constater que ces séquences à l'exception de la séquence 11 sont décrites par Maffiolo (1998) comme des séquences dites événementielles (voir §7.3).

Remarque: notons une contradiction de nos résultats avec ceux de Fastl (1991) qui montre que la mesure du L_{eq} sous-estime les valeurs du jugement global pour des séquences sonores d'une durée beaucoup plus longue (environ 16 minutes). Il est possible que cette différence soit liée à la durée des séquences ou encore à la

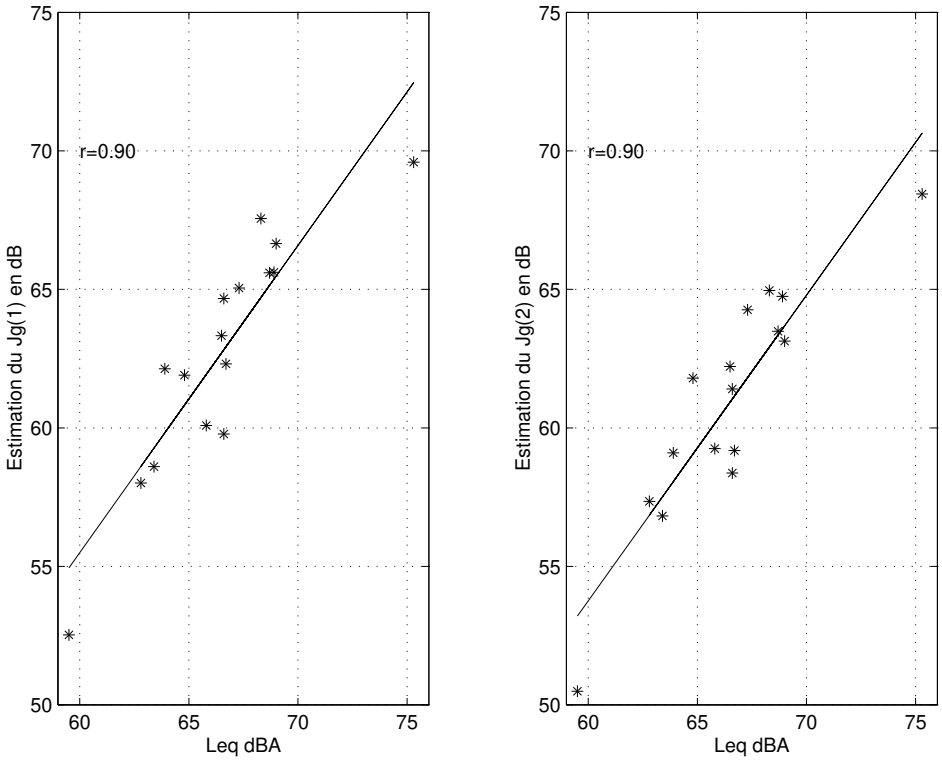

Figure 7.7˚: Corr lation des jugements globaux obtenus dans la condition 1 (droite) et la condition 2 (gauche) avec la mesure du L_{eq} en dBA.

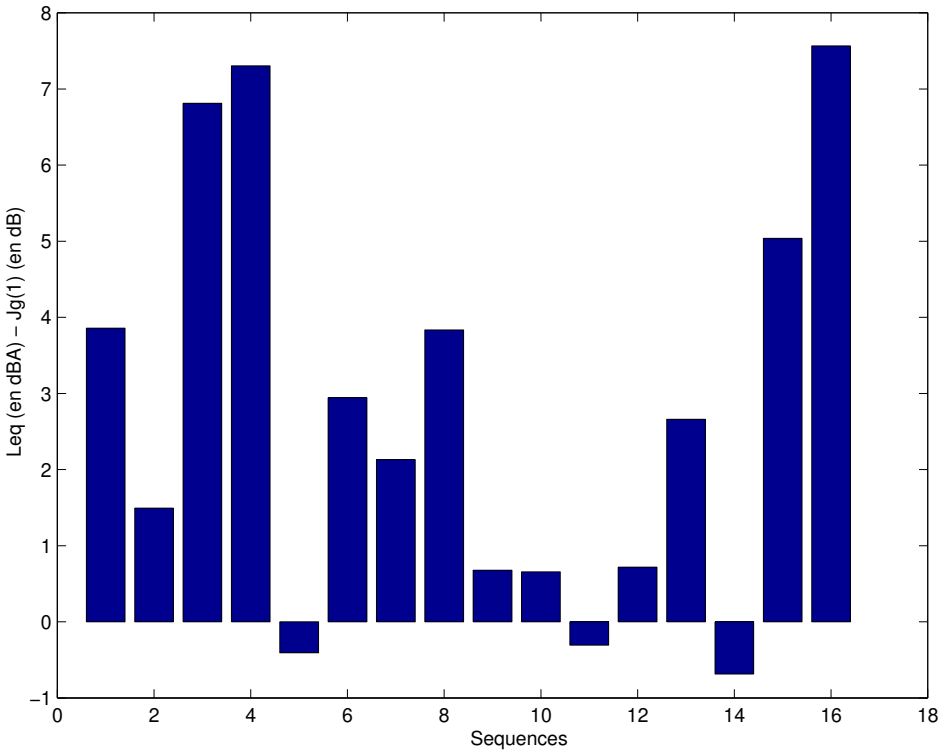

Figure 7.8˚: Diff rence entre la valeur du L_{eq} en dBA et la valeur du jugement global en dB obtenu dans la premi re condition pour chacune des s quences.

7.8 Discussion

Dans les études réalisées par Kuwano (1985) et Fastl (1991), à partir d'une durée d'environ 20 minutes, le jugement global est plus élevé que la moyenne des jugements continus. Les auteurs supposent que le jugement global est dépendant des événements dominants. Afin de vérifier cette hypothèse, des stimuli de plus courte durée extraits du son initial sont jugés en continu et globalement. Malgré des durées comprises entre 27 et 135 secondes et des séquences d'événements différents, le jugement global reste toujours supérieur à la moyenne des jugements continus (voir chapitre 3).

Ces résultats sont globalement différents de ceux obtenus dans la présente (§ 7.2.2). Plusieurs éléments peuvent être mis en cause : le corpus des stimuli utilisés, les sujets, le procédé d'enregistrement et de rediffusion, et principalement la méth

Dans la méthode de jugement par catégories utilisée par Kuwano (1985) une variation perçue d'intensité une catégorie, entre "très faible" et "très fort". Cette méthode d'évaluation passe par un codage supérieur faisant appel à un à un lexique associé dont la référence dépend du sujet, du nombre de catégories et de la gamme de variations du stimulus (acoustique). Avec cet type de procédure, le sujet peut mémoriser visuellement les catégories utilisées lors de son jugement en continu associé aux différentes sources perçues, et s'il utilise l'équivalence des cat importantes, il est probable qu'il s'en souvienne au moment de son évaluation globale. De plus, s'il alterne ses jugements entre deux catégories successives (pour prendre un cas extrême), par exemple "moyen" et "fort", lors de la tâche, le jugement global jugera globalement le stimulus soit de niveau "moyen", soit de niveau "fort" n'ayant pas d'autre alternative que ces deux catégories. Finalement, le jugement global s plus faible, soit plus fort que la moyenne des jugements continus.

7.9 Conclusion

Dans l'étude présentée, les valeurs du jugement global obtenues sont significativement corrélées avec la moyenne (r = 0,92) et le maximum (r = 0,86) des jugements continus. De manière plus précise, les données présentées font apparaître une meilleure correspondance entre la valeur du jugement global et la moyenne des jugements continus. Ceci signifie que l'estimation de la valeur moyenne produit une bonne estimation du jugement global dans le cas des séquences testées. Ce résultat et le fait que les jugements obtenus dans la troisième condition sont peu corrélés avec ceux des autres conditions,

nous fait penser que le processus sous-jacent au jugement global ne semble pas dépendre d'un effet de récence pour les séquences considérées.

D'autre part, la mesure du L_{eq} en dBA produit une meilleure estimation du jugement global pour les séquences dites "événementielles" (voir §7.3) c'est-à-dire qui comprennent des événement sonores discernables.

Globalement, l'arborescence représentée sur la figure 7.1 révèle deux grandes catégories, G2 et F2. Même si la mesure du L_{eq} en dBA est sensiblement plus élevée pour certaines séquences appartenant à la catégorie dite "événementielles", les valeurs mesurées ne permettent pas de préfigurer une représentation bi-catégorielle. De manière similaire, la distribution des valeurs de l'indice de fluctuation estimé pour chacune des séquences n'est pas bi-catégorielle. Cependant, la différence entre les valeurs des deux catégories est plus contrastée que celle observée pour la mesure du L_{eq}. Cette observation nous laisse supposer qu'un modèle de calcul d'un indice de fluctuation temporelle, plus précis que celui utilisé dans cette étude, permettrait donc d'obtenir une information supplémentaire sur le type d'une séquence étudiée.

Ce résultat met en évidence la nécessité d'approches complémentaires psychophysique et cognitive dans l'étude auditive de séquences sonores multisources et multiformes qui correspondent à des ambiances sonores urbaines.

8 Evaluation de l'intensité perçu sons de véhicules en phase d'accélération

Bobber, l'un des premiers acousticiens concernés par le bruit des voitures, les présente en 1988 une synthèse de la question au congrès de la Société Allemande d'Acoustique. Il établit que la nuisance sonore perçue à l'intérieur d'un véhicule n'est pas seulement due au niveau acoustique mais aussi aux fluctuations temporelles. Mener une étude de séquences sonores correspondant à des phases d'accélération implique d'être confronté à un ensemble de sources dont les caractéristiques vont se transformer soit de manière continu (peigne harmonique, densité spectrale, amplitude, etc.) soit de manière "accidentelle" (bosse de bourdonnement, bruits d'équipement, etc.) au cours d'une variation du régime moteur. Ces fluctuations provoquent des variations du niveau sonore sur lesquelles nous focaliserons notre intérêt. Nous examinerons à partir d'un groupe d'auditeurs dans quelle mesure les changements en intensité sont perçus en continu, et de quelle manière ils participent à une impression globale.

8.1 Introduction

Des jugements en intensité de sons de voiture en phase d'accélération ont été comparés selon différents critères biographiques : sexe, nationalité, âge (Kuwano, Namba, Hato, Matui, Miura, Imai, 1993). L'évaluation de la sonie est apparue très dépendante des auditeurs. D'autre part, les jugements de la sonie de séquences sonores extraites de l'environnement montrent une variabilité inter-individuelle plus importante que celle évaluée sur des jugements de nuisance sonore (Berglund, Preis, 1997). Il apparaît donc, contrairement aux attentes, que l'évaluation de la sonie est un facteur dépendant des stratégies individuelles et (apparemment) psychologiques (habitude, etc.) même s'il s'agit d'un facteur généralement prédominant dans les jugements (Susini, McAdams, Winsberg, 1997). Dans cas de sons de voiture en phase d'accélération, on peut se demander dans quelle mesure le jugement en continu est dé-corrélé des variations d'autres facteurs tels

que l'évolution de la partie harmonique générée par le bruit du moteur, créant ainsi un guide temporel des jugements. Dans la tâche effectuée, deux sortes de jugements peuvent découler du type d'attention apportée par les auditeurs et de leur entraînement. Dans le premier cas, l'auditeur se focalise sur un paramètre et il réalise la tâche demandée par habitude, connaissance et/ou par un processus d'attention sélective ; dans l'autre, l'auditeur ne perçoit qu'une partie du bruit par manque d'initiation et/ou par un processus d'attention. Les sons d'accélération sont complexes, multiformes et multisources. Certaines tâches peuvent nécessiter la participation de sujets entraînés sur un type de signaux. Entraîner un auditeur ne changera pas son seuil de sensibilité sonie mais en revanche, modifiera son critère décisionnel de fait, sa sélectivité dans le processus d'attention (Bonnet, 1997, Jones, Yee, 1994). Nous ne souhaitons pas orienter l'étude des sons de véhicules vers une "expertise" auditive des caractéristiques acoustiques des signaux, cependant nous approfondirons l'analyse des stratégies d'écoute individuelle en fonction des classes de réponses que nous obtiendrons. Le groupe des sujets participant aux expériences contiendra aussi bien des auditeurs "naïfs" que des auditeurs dont la profession appartient au domaine de l'acoustique.

Globalement, nous étudierons les résultats tant dans des expériences générales et en terme de stratégies perceptives. Cette analyse sera effectuée en fonction des conditions expérimentales, chacune correspondant à un type d'écoute déjà introduit au chapitre 6 (voir § 6.4.2), en fonction des manipulations exécutées sur les signaux d'origine fournis par les constructeurs automobiles, et en fonction des classes de sujets.

La procédure utilisant la méthode par appariement inter-modalité sera appliquée aux sons extraits d'accélération de voitures. Les données permettront de proposer les jugements en continu de loudness émis immédiatement à la fin du son. Nous rappellerons brièvement la méthode utilisant le dispositif proprioceptif lors de la phase de étalonnage individuel (§ 8.2). La fonction psychophysique obtenue à partir des sons stationnaires de voiture sera comparée avec celle déterminée dans les mêmes conditions pour des sons purs. La deuxième partie du chapitre sera consacrée aux expériences sur les sons de voiture en phase d'accélération (§ 8.3). Dans un premier temps, nous proposerons d'effectuer une réduction du corpus des sujets en fonction de la notion de "validité" individuelle introduite au paragraphe 8.4.2. Puis, nous analyserons les profils de jugement en continu (§ 8.4.3). Nous observerons s'il existe des classes de stratégies de jugement orientées par une écoute "initiée" ou "non". Pour finir, nous examinerons de manière globale sur l'ensemble des sujets les relations entre les différentes conditions expérimentales et, surtout la relation entre l'impression générale et le profil des jugements continus en intensité.

8.2 Etalonnage individuel de la méthode

8.2.1 Méthode et dispositif d'évaluation

La procédure mise en place utilise la méthode par appariement inter-modal décrite au chapitre (voir §5.5). Elle consiste à égaliser perceptivement deux modalités sensorielles. Le but est de déterminer une fonction psychophysique d'égale sensation entre les valeurs sensorielles des deux modalités sensorielles. Dans notre cas, les deux modalités correspondent respectivement à la sensation proprioceptive et à la sonie. La force musculaire est mesurée à l'aide d'un dispositif proprioceptif conçu à

8.2.2 Fonction d'appariement individuelle

Afin de comparer les jugements obtenus pour chacun des sujets, il est la méthode individuelle mentionnée. Ainsi, les fonctions psychophysiques d'appariement individuelles seront évaluées.

8.2.2.1 Sujets

Un groupe de 19 sujets âgés de 25 et 40 ans, a participé à l'ensemble de l'expérience (12 hommes et 7 femmes). Six des sujets (5, 8[27], 13, 14, 17, 19) participaient pour la première fois à une expérience psychoacoustique. Six sujets (4, 6, 7, 12, 15, 18) n'étaient pas experts dans le domaine mais avaient déjà pris part aux tests précédents (appariement inter-modal avec des sons purs). Les autres sujets (2, 3, 9, 10, 11, 16, 17) sont soit acousticiens soit spécialistes en audition, et deux d'entre eux ont déjà réalisé ce type de tâches (2, 10). Chacun des sujets a été soumis à une phase d'entraînement pour chacune des tâches : trois séries au moins pour l'étalonnage qui a nécessité une durée pour l'ensemble des trois conditions de l'expérience principale. Aucun des sujets s'a mentionné avoir une déficience auditive.

8.2.2.2 Stimuli

Pendant la phase d'étalonnage, sept sons de voiture de niveaux acoustiques 50, 55, 60, 65, 70, 75 et 80 dB SPL sont successivement diffusés. Le stimulus d'origine est extrait de la fin d'un son d'accélération de voiture utilisé dans la suite de l'expérience (voiture 12, voir §8.3.1). Il est calibré sur une durée de 1 s au niveau de 80 dB SPL. Les six

[27] Notons que le sujet 8 n'a pas effectué l'expérience correspondant à la troisième condition (voir la procédure expérimentale au §8.3.2).

autres stimuli (*i*) sont atténués de *n* dB par rapport au stimulus d'origine, *n* = [5, 10, 15, 20, 25, 30].

8.2.2.3 Appareillage et procédure

Le système expérimental est à celui utilisé aux chapitres 5 et 6 (voir §5.3.2). La procédure de la phase d'étalonnage est équivalente à celle utilisée pour les sons purs et les séquences sonores urbaines (voir §6.3.4).

8.2.2.4 Transformation d'échelle individuelle

Le tableau 8.1 présente les couples (a_i, b_i) associant force et niveau acoustique (voir éq. 6.2) par une fonction psychophysique pour l'ensemble des 19 sujets. L'observation des fonctions individuelles et le coefficient de corrélation correspondant entre les données et la fonction de puissance associée pour chacun des sujets. Le couple (a_i, b_i) permet une transformation d'échelle individuelle pour passer alternativement de la pression acoustique à la force (voir la relation 6.3 au §6.3.5).

Ainsi, dans la suite de l'expérience, les jugements obtenus sous la forme de forces "équivalentes" en Newtons, sont transformés en pression acoustique individuellement. Moyennes et erreurs-types sont évaluées sur des valeurs en pression acoustique avant d'être représentés en dB SPL.

Sujet n¡	**a_i**	**b_i**	**r** (dl°=°5)
1	0.06	1.25	0.83
2	0.21	0.41	0.86
3	0.52	-1.40	0.96
4	0.17	0.44	0.96
5	0.32	-0.27	0.99
6	0.38	-0.59	0.95
7	0.27	-0.27	0.97
8	0.49	-1.63	0.91
9	0.45	-0.99	0.88
10	0.45	-1.00	0.94
11	0.25	-0.05	0.87
12	0.21	0.56	0.88
13	0.22	-0.16	0.94
14	0.52	-1.26	0.96
15	0.21	0.28	0.96
16	0.51	-1.38	0.95
17	0.43	-0.78	0.97
18	0.31	-0.59	0.96
19	0.30	-0.54	0.99

Tableau 8.1: Fonctions de puissance individuelles d finies par les couples (a_i, b_i). La valeur r correspond au coefficient de corr lation entre les donn es et la fonction de puissance associ e pour chacun des sujets.

La fonction globale d'appariement pour les sons stationnaires des voitures a été déterminée sur une moyenne de 19 tests (a = 0,28). Pour chacun des stimuli de niveau L_i, la somme des forces associées par l'ensemble des sujets est calculée (équation 8.1). Le résultat est représenté sur la figure 8.1.a.

$$\sum_j f_j^i = F_i \qquad (8.1)$$

avec i = stimulus et j = sujet

La fonction psychophysique pour les sons purs a été déterminée sur une moyenne de 25 tests (a = 0,28) afin de la comparer avec la fonction globale d'appariement inter-modal pour les sons stationnaires des voitures obtenue ici dans la phase d'étalonnage. La représentation montre une grande similitude entre les deux fonctions d'autant plus lorsque les estimations en Newtons sont représentées en fonction d'une mesure de la sonie selon le modèle Zwicker (1985). La forme similaire obtenue pour les deux fonctions est représentée sur la figure 8.1 un résultat très satisfaisant confirme la validité de la méthode et du modèle d'estimation de la sonie.

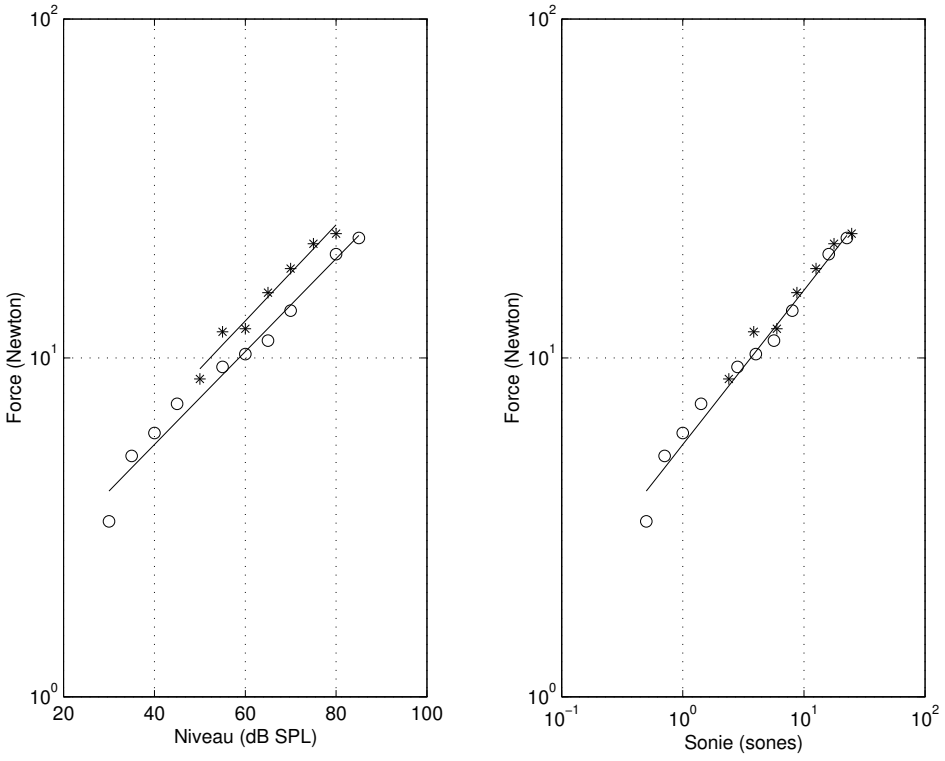

Figure 8.1˚: Fonction de puissance obtenue par appariement inter-modal pour des sons de voitures (*) et pour des sons purs de 1000˚Hz (o). Les figures a et b repr sentent l'estimation obtenue en Newton en fonction respectivement du niveau en dB˚SPL et de la sonie en Sones. La dur e des stimuli est de une seconde.

8.3 Expérience 9 : évaluation de la sonie des so voitures en phase d'accélération

8.3.1 Stimuli

Le tableau 8.2 présente la liste des 21 sons d'accélération de véhicules utilisés pour l'expérience. Seize sont utilisés sous forme originale et ont été fournis par Renault et PSA. Deux types d'accélération sont représentés pour certains véhicules : accélération lente ("progressive") et accélération rapide ("pied plancher"). Lorsque le cas se présente, le type d'accélération est mentionné par la lettre l pour une accélération lente et par la lettre r pour une accélération rapide. Pour chacun des sons, la durée est indiquée en secondes. Certains sons (1, 6 et 19) ont fait l'objet d'un traitement ac certaines hypothèses liées à leurs composantes spectrales (traitements n°2 et n°3) et à l'influence d'un événement situé en début de signal, nommé "bosse de bourdonnement" (traitement n°1). Les nouveaux sons obtenus sont signalés par un chiffre correspondant au type de traitement effectué (voir tableau 8.2).

Traitement n°1 : trois sons de voitures parmi les 16 sons disponibles présentent une forte résonance dans les basses fréquences en début de signal ("bosse de bourdonnement"). La durée des trois sons (1, 6, 19) est respectivement de 62, 24 et 31 secondes. La durée approximative des "bosses" de résonance est respectivement de 8, 6 et 3 s Le niveau crête relatif des bosses pour les trois sons. Afin d'observer l'effet produit par le bourdonnement basse fréquence sur l'évaluation sonore, la partie du signal correspondant a été éliminée à l'aide du logiciel AudioSculpt (Depalle, Garcia, Rodet, 1993). Autrement dit, le début du son est supprimé. Finalement, pour chacun des sons obtenus (2, 7, 20), la durée du signal restant est respe 55, 19 et 29 secondes.

Traitement n°2 : l'harmonique 2N a été atténuée de 30 dB sur toute la durée du signal pour chacun des trois sons. Cette opération a été réalisée en sélectionnant l'harmonique 2N sur l'interface graphique du logiciel AudioSculpt, puis une atténuation de 30 dB lui a été appliquée en utilisant un outil de contrôle du niveau proposé par le logiciel. Les sons obtenus correspondent aux sons numérotés 3, 8 et 21.

Traitement n°3: les sons 1 et 6 ont été re-synthétisés par synthèse additive[28] (Depalle, Garcia, Rodet, 1993; Gaci, Seulle, 1992). Seule la partie harmonique a été conservée (stimuli 4 et 9). Ce traitement a été appliqué uniquement aux sons 1 et 6. Les sons obtenus correspondent aux sons numérotés 4 et 9. Cette opération a pour but de déterminer l'influence de la partie bruitée sur les jugements.

Traitement n°4: l'intensité acoustique après le traitement 3, puis 2, a été multipliée par deux. Les sons obtenus correspondent aux sons numérotés

8.3.2 Procédure expérimentale

Après avoir évalué les fonctions psychophysiques d'appariement inter-modal individuelles (étalonnage individuel), l'expérience se déroule en trois phases correspondant respectivement aux conditions définies au chapitre 6 (voir § 6.4.2). Les dix premiers sujets commencent par la première condition, les neuf autres sujets par la seconde. Tous les sujets ont terminé l'expérience par la troisième condition. Dans chacune des conditions, chaque sujet effectue une série d'essais sur quelques sons. Les sons sont diffusés dans un ordre aléatoire.

La procédure expérimentale de la troisième condition correspond dans notre expérience à une situation réaliste comparée aux conditions 1 et 2. En effet, dans ces deux cas, l'auditeur est dans une situation d'écoute attentive, alors que dans un contexte réelle

[28] Afin d'analyser d'un point de vue perceptif les différentes contributions de la partie harmonique et de la partie non harmonique des sons de voitures, nous avons dissocié ces deux parties par une procédure d'analyse/synthèse additive. Puis nous avons conservé uniquement la partie harmonique.
La technique d'analyse/synthèse additive consiste à représenter un signal sonore comme une somme de sinusoïdes de fréquence et d'amplitude variables au cours du temps, permettant d'obtenir des sons synthétiques d'une très bonne qualité.
Pour cette analyse et synthèse, nous avons utilisé un programme de traitement du signal (Additif) existant à l'Ircam (Depalle, Garcia & Rodet, 1993). Les sons ont été séparés en deux voies, gauche et droite. Le programme estime la fréquence fondamentale, calcule la transformée de Fourier (FFT) avec une fenêtre glissante, estime l'enveloppe spectrale, corrige les fréquences des partiels d'après la phase, détecte les pics spectraux et estime leurs paramètres (fréquence, amplitude et phase), synthétise la partie bruitée du signal par un modèle source/filtre après avoir soustrait la partie harmonique et synthétise la partie harmonique par FFT inverse.
Dans un premier temps, l'algorithme fait une recherche de la fréquence fondamentale f_0. Cette phase nécessite de fixer la longueur de la fenêtre d'analyse, le pas d'avancement de la fenêtre glissante et les bornes de l'intervalle de recherche de f_0 (f_{min}, f_{max}). Etant donnée, les variations de la fréquence fondamentale f_0 qui dépend de la montée en régime du moteur, il est important d'effectuer une analyse préliminaire afin de prédire approximativement l'évolution des bornes inférieures et supérieures (f_{min}, f_{max}) entre lesquelles le programme va réaliser la recherche du f_0. A partir du trajet de f_0, le programme détermine les partiels dont on fixe le nombre. Finalement, les principaux paramètres de sortie sont les fréquences et les amplitudes des sinusoïdes (partiels), qui seront additionnées pour construire le son de synthèse. La dernière étape consiste à extraire, par "simple soustraction", le signal synthétisé du signal d'origine pour obtenir le signal non harmonique.

conducteur d'un véhicule est principalement attentif aux informations provenant de son champ visuel.

N° de son	N° de traitement	Etiquette	Durée (s)
1	-	A *l*	62
2	1	A *l*	55
3	2	A *l*	62
4	3	A *l*	61
5	4	A *l*	54
6	-	A *r*	24
7	1	A *r*	19
8	2	A *r*	24
9	3	A *r*	24
10	4	A *r*	19
11	-	B *l*	54
12	-	B *r*	30
13	-	C	28
14	-	D *r*	22
15	-	D *l*	60
16	-	E	22
17	-	F	17
18	-	G	20
19	-	H	31
20	1	H	29
21	2	H	31

Tableau 8.2˚: Liste des sons de voitures utilisés pour l'expérience et fournis par Renault et PSA. Les traitements réalisés sur les sons d'origine n° 1, 6 et 19 sont indiqués par le chiffre correspondant : (1) suppression de la "bosse de bourdonnement", (2) atténuation de 30 dB de l'harmonique 2N, (3) re-synthèse du signal avec extraction de la partie non-harmonique et (4) signal doublé en intensité + les traitements (3) et (2). Les voitures sont étiquetées par des lettres pour des raisons de confidentialité. Les lettres *l* et *r* correspondent aux deux types d'accélérations lente et rapide indiquées par les constructeurs pour certains sons.

Il est donc dans une situation d'écoute inconsciente qui correspond à une situation de surveillance de son environnement sonore, surtout lorsque les informations sont utiles pour l'action en cours (c'est-à-dire en "sentant" l'état de fonctionnement du véhicule). Les informations sont en stockage sensoriel. Une part seulement de l'information, source privilégiée, est interprétée. Par exemple, l'information correspondant à un bruit particulier du véhicule ou à un signal extérieur (Klaxon), passera du niveau de stockage sensoriel à un niveau de reconnaissance et

8.4 Résultats

8.4.1 Résultats de la tâche visuelle

La tâche visuelle est décrite au chapitre 6 (voir §6.4.2). Globalement, tous les sujets ont bien effectué la tâche : 171 séquences en moyenne ont été réalisées, ce qui correspond à

environ une séquence toutes les 4 secondes, diffusion et réponse comprises. Le taux d'erreur est en général assez faible à l'exception toutefois des sujets 2 et 4 dont les taux d'erreur respectifs sont de 10 % et 12 %.

8.4.2 Validité individuelle : réduction du corpus de sujets

Nous introduisons la notion de "validité" des réponses du sujet en ce qui concerne sa fiabilité dans la réalisation de la tâche demandée. En effet, certains sujets n'ont pas répondu à l'évaluation du jugement global dans la première condition ou ont oublié de valider leur jugement, ou encore, ont des stratégies incohérentes. Les corrélations interindividuelles sur l'ensemble des stimuli ainsi que les analyses en composantes principales (ACP) pour chacune des conditions ont permis de distinguer ces sujets par rapport à l'ensemble. Globalement, la première et la deuxième composante des analyses ACP expliquent respectivement 50% et 9% de la variance. Il apparaît que les sujets 1 et 13 ont une stratégie complètement incohérente par rapport à l'ensemble des sujets quelle que soit la tâche demandée. Il en est de même pour le sujet 12 dans la troisième condition. Le sujet 4 quant à lui a oublié d'effectuer ses jugements dans la premiè

La figure 8.2 présente la variation de la moyenne des réponses pour chacun des type cal sons dans les trois conditions en enlevant à[29]. Les données ont été stabilisées quels que soient les sujets absents et les conditions, à l'exception du sujet 19 dans la condition 1. Il semble qu'il ait modifié son échelle d'équivalence entre la sensation proprioceptive et la sonie depuis la phase d'étalonnage. En d'autres termes, sa fonction psychophysique n'est plus la même.

Finalement, en considérant le test des jugements du contenu et le test du jugement global dans les trois conditions comme équivalents à quatre expériences indépendantes, nous avons pour chacune d'elles éliminé certains sujets en nous basant sur leurs réponses ainsi que sur les analyses décrites plus haut. Par conséquent, les jugements des sujets (1, 4, 13, 19), (1, 12, 17, 19), (1, 3, 12, 13) ont été éliminés respectivement pour la condition 1, la condition 2, la tâche de jugement en continu. La représentation des résultats dans la suite est issue des jugements obtenus à partir de ce corpus réduit de sujets.

Cette réduction permet d'évaluer des descripteurs statistiques (moyenne, erreur-type, coefficient de variation) non perturbés par des erreurs et des incohér

[29] Proc dure de calcul connue sous le nom de "Jack-knife".

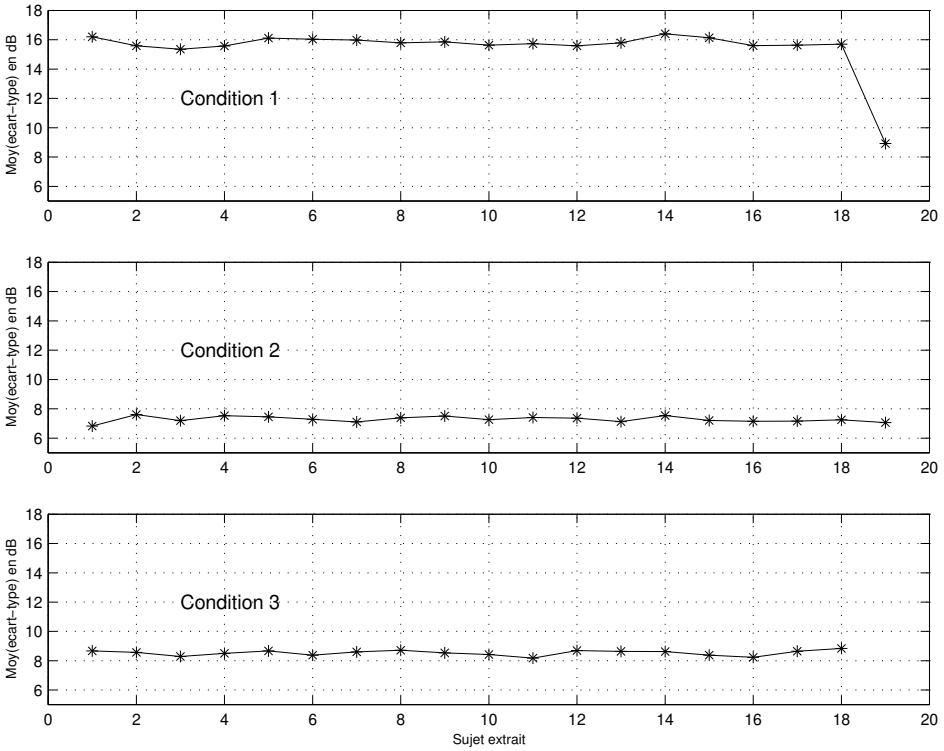

Figure 8.2°: Evaluation de l' cart-type (en dB) en r alisant un "Jacknife" sur les sujets c'est- -dire en enlevant un sujet tour de r le.

8.4.3. Jugements continus

Tous les jugements obtenus en Nevrinés sont transformés en pression acoustique par les fonctions psychophysiques individuelles selon le schéma de la relation 6.3 du paragraphe 6.3.5. Une moyenne est calculée pour chaque son sur l'ensemble des sujets avant d'être exprimée en décibels.

Une première observation des profils des jugement continus révèle deux ty
profils. Pour chacun des sons, il apparaît que pour au moins neuf sujets (2, 3, 10, 11, 13, 16, 17, 18 et 19) les variations du niveau acoustique provenant du bourdonnement basse fréquence sont jugées distinctement de celles dues à la montée du régime moteur. Les profils présentent des monotones au cours du temps. En revanche, cette augmentation du niveau acoustique produit par la bosse de bourdonnement est en partie, voire totalement, absente des profils des jugements en continu des autres sujets. Les courbes obtenues sont parti-monotones. Dans ce cas, il semble que les sujets jugent davantage le crescendo harmonique que la variation du niveau acoustique. Aussi, nous devons finir plus près ces deux tendances qui distinguent ceux qui ont réussi à estimer la sonie en continu de

manière dé-corrélée de la variation fréquentielle de ceux qui ont "échoué". La comparaison des profils des sujets 3 et 9 par rapport à l'enveloppe et au trajet fréquentiel f_0 est bien illustrée sur la figure 8.3.

Afin de distinguer de manière automatique ces deux types de profils, nous avons de nouveau procédé à un calcul de l'indice de fluctuation IF (voir §7.7.1). Cet indice est évalué sur le profil de chaque son produit par chaque sujet. Il traduit le degré de fluctuation des profils des jugements continus. La figure 8.4 représente la valeur de l'indice de fluctuation pour chacun des sons et chacun des sujets. Pour 5, 6, 7, 8, 14, 15, 19), la valeur obtenue est quasiment nulle. La liste de ces sujets est presque complémentaire de celle qui a été établie par observation (2, 3, 10, 11, 13, 16, 17, 18 et 19), à l'exception du sujet 19. L'indice de fluctuation est un bon indicateur du type d'évolution des profils obtenus: monotone ou non monotone. Ainsi, il est possible de distinguer deux groupes de sujets.

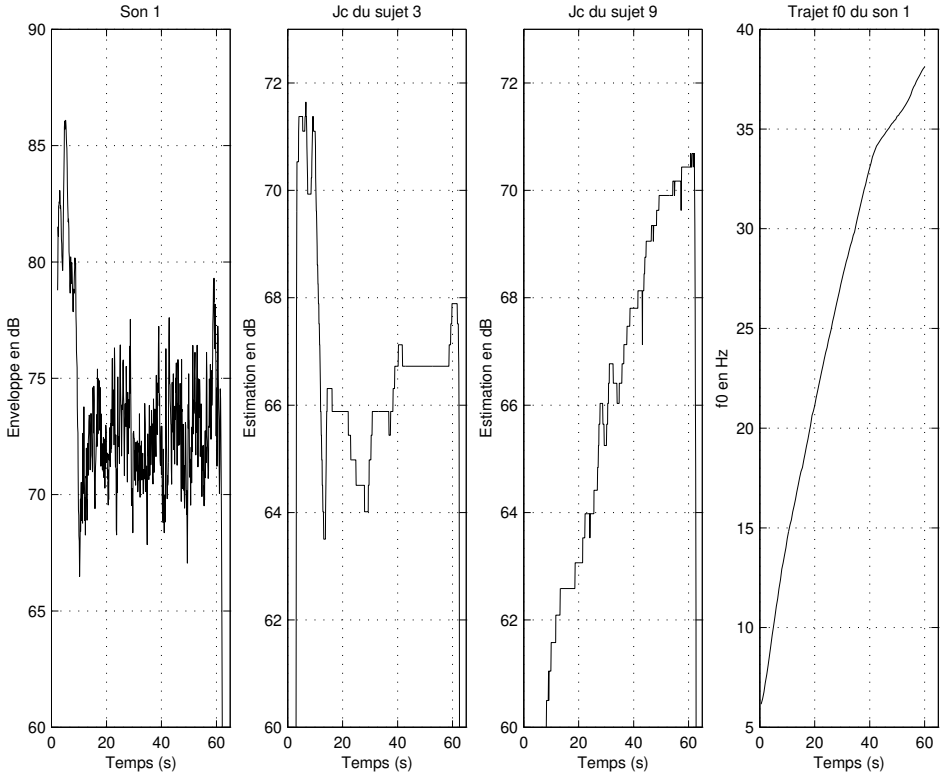

Figure 8.3˚: Comparaison entre les profils des jugements continus produits par les sujets 3 et 9 par rapport l'enveloppe rms et au trajet fr quentiel f_0 du son 1.

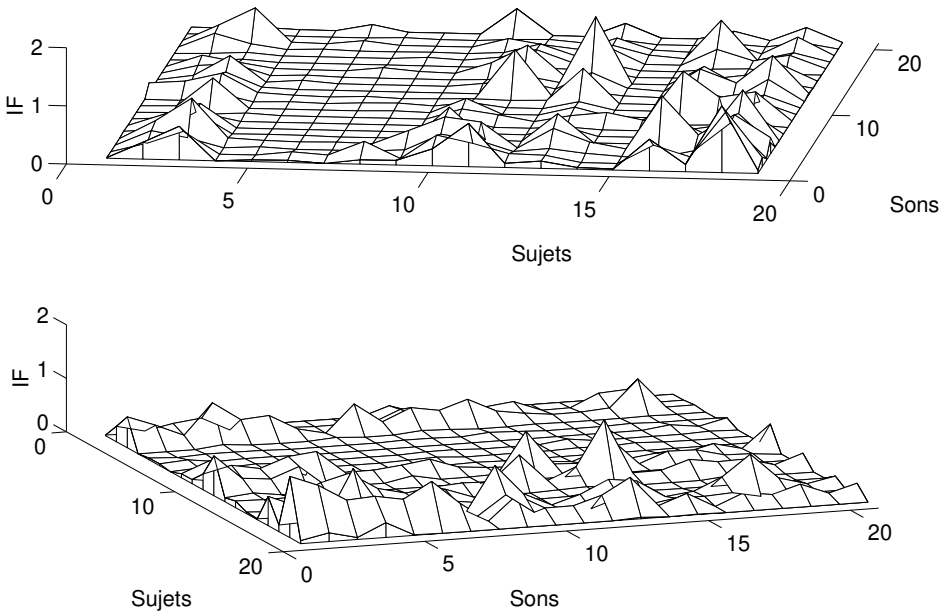

Figure 8.4°: Indice de fluctuation (IF) pour chacun des sujets et des sons sous deux angles de vue.

Dans une étape supplémentaire, nous avons vérifié si l'aspect monotone des profils produit par certains sujets est influencé par la variation crescente en fréquence (trajet de f_0) correspondant à la montée du régime moteur. Dans ce but, le coefficient de corrélation entre les profils individuels et l'évolution temporelle de la fréquence f_0 est évalué pour les sons 1, 4, 6 et 9. Les profils de jugement et de fréquence f_0 sont échantillonnés toutes les 100 ms.

La valeur du coefficient de corrélation et la valeur de l'indice de fluctuation sont représentées individuellement pour les sons 1 et 4, et pour les sons 6 et 9 respectivement sur les figures 8.5 et 8.6. La hauteur des barres indique la valeur de la fluctuation. Pour certains sujets, la valeur du coefficient de corrélation entre la trajectoire de la fréquence f_0 et profils des jugements associés est proche de un. Pour les mêmes sujets, la valeur de l'indice de fluctuation est nulle. Ce résultat confirme les observations précédentes. Un groupe de sujets estime valuer les variations en sonie, alors que leurs jugements sont orientés par la variation harmonique. De ce point de vue, l'indice de fluctuation permet de déterminer des différences interindividuelles à partir des profils de jugements continus. Le calcul de cet indice nous avait déjà permis dans l'étude des ambiances sonores, de distinguer d'une part les séquences sonores entre elles, et d'autre part, les stratégies interindividuelles.

Finalement, en fonction de l'indice de fluctuation, nous avons dissocié deux groupes de sujets. Le groupe 1 est composé des sujets 2, 3, 10, 11, 16, 17 et 18. Le groupe 2 est composé des sujets 5, 6, 7, 8, 9, 12, 14 et 15. Il est à noter que sur les quinze sujets, sept sont dans domaine et ont l'habitude d'écouter et de juger des sons de toutes natures, sans avoir néanmoins une expertise sur les sons de voitures. Six d'entre eux appartiennent au groupe 1. Cela suggère ainsi que les deux groupes de profils découlent de deux types d'écoute, l'une "initi

Une dernière observation concerne les sons pour lesquels la partie non harmonique des signaux a été éliminée (traitement n°3). Dans ce cas (son numéro 9), les profils individuels et f_0 est plus importante. Nous expliquons ce résultat par un effet de masquage. En effet, à la fin d'une phase d'accélération, la partie non harmonique (bruit aérodynamique) est prépondérante et masque la partie harmonique. Aussi lorsque la partie non harmonique est éliminée, les sujets sont encore plus enclins à suivre l'évolution fréquentielle de f_0. Ce dernier point est illustré par la figure 8.7 sur laquelle sont superposés les profils des sons 4 et 9, d'une part, et les profils des sons 6 et 9, d'autre part. Ceci explique qu'en moyenne, les sons 4 et 9 sont jugés plus forts que les sons d'origine 1 et 6.

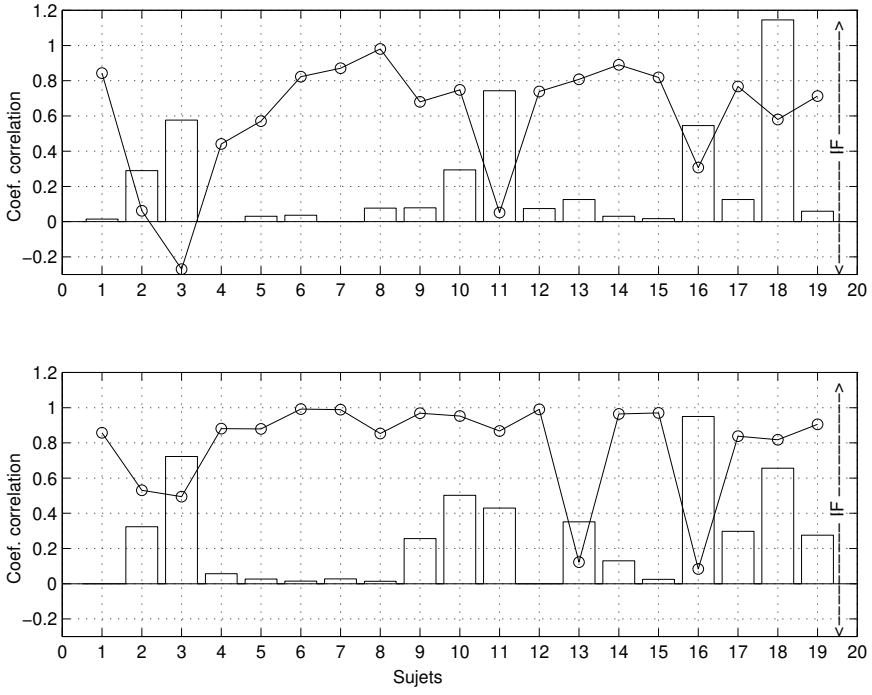

Figure 8.5˚: Corr lation entre les profils individuels des jugements continus et la trajectoire temporelle de f_0 des sons 1 (figure du haut) et 4 (figure du bas). La hauteur des barres indique la valeur de l'indice de fluctuation individuelle pour le son consid r .

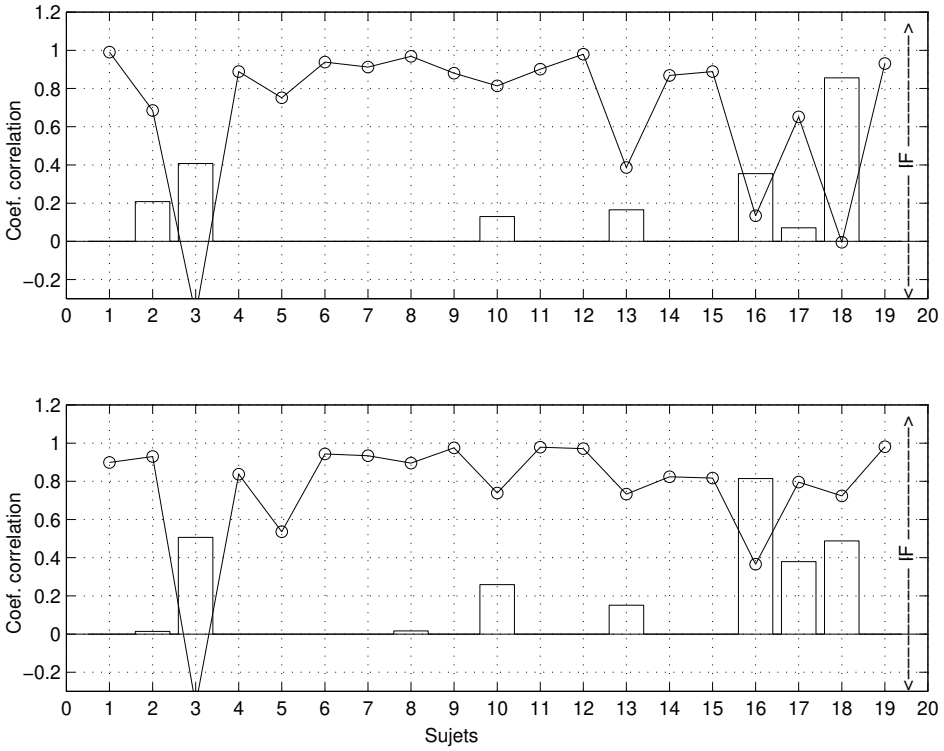

Figure 8.6˚: Corr lation entre les profils individuels des jugements continus et la trajectoire temporelle de f_0 des sons 6 (figure du haut) et 9 (figure du bas). La hauteur des barres indique la valeur de l'indice de fluctuation individuelle pour le son consid r .

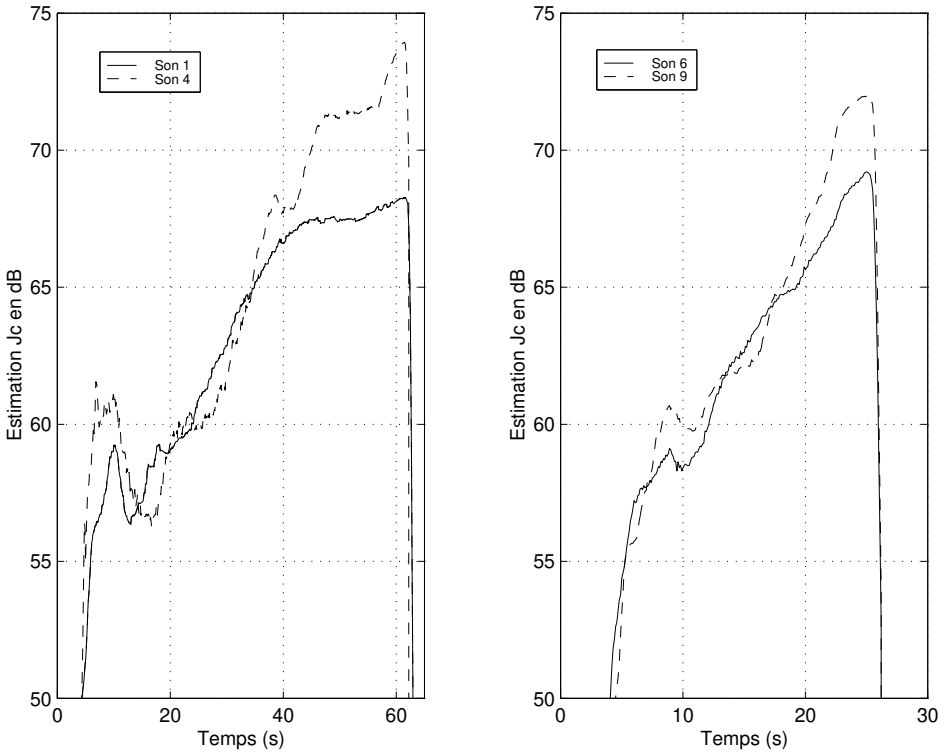

Figure 8.7°: Comparaison des profils obtenus pour les sons 1 et 4, et 6 et 9.

8.4.4 Jugement global

8.4.4.1 Comparaison entre les trois conditions

Les valeurs du jugement global ont été obtenues pour chaque son dans les trois conditions expérimentales considérées. En moyenne, la valeur du coefficient de corrélation entre les conditions 1 et 2 est 0,92 (dl = 19). Le résultat est similaire pour la condition 3 en fonction de la condition 1 (r = 0,88, dl = 19) et, pour la condition 3 en fonction de la condition 2 (r = 0,88, dl = 19). Il apparaît donc une très bonne correspondance des jugements dans les trois conditions. Conformément à l'hypothèse sous-jacente à la troisième condition (voir §4.7 et §6.4.2), ce jugement global semble donc lié à la fin du son, traduisant un effet de récence

8.4.4.2 Jugement global vs jugement continu

Afin de confirmer l'hypothèse du paragraphe précédent, la moyenne des jugements en continu a été évaluée sur une fenêtre temporelle correspondant à la fin de la fenêtre variable, partant de la fin du signal, entre 100 ms (dernier échantillon) et 15 secondes (1500 échantillons en partant de la fin). Les valeurs du jugement global estimées dans les trois conditions sont corrélées avec les jugements continus intégrés sur chacune des fenêtres. Les courbes de corrélation sont représentées sur la figure 8.8. Chacune des courbes correspond à 150 valeurs du coefficient de corrélation. Dans les trois conditions, une valeur maximale du coefficient de corrélation est atteinte à la fin du signal (0,96, 0,96 et 0,93 respectivement pour les conditions 1, 2 et 3). Ces valeurs sont constantes sur un plateau dont la durée est respectivement de 5, 8 et 3 secondes. Pour des fenêtres de durée supérieure, les valeurs du coefficient de corrélation diminuent de manière similaire. Il apparaît donc que le jugement global correspond à une intégration de l'intensité estimée des dernières échantillons. Notons qu'en moyenne, le maximum des jugements en continu se trouve toujours à la fin de chacun des sons testés. Aussi cette valeur ainsi que la moyenne des jugements en continu sur toute la durée de chacun des stimuli ont été estimés.

La figure 8.9 représente le jugement global obtenu dans la condition 1 en fonction du maximum et de la moyenne des jugements en continu. On observe une très bonne corrélation entre les valeurs du jugement global et les valeurs maximales d'une part (r = 0,87, dl = 19) et, les valeurs moyennes d'autre part (r = 0,87, dl = 19). Cependant,

l'observation des données représentées sur la figure 8.9 montrent que ni la valeur moyenne et ni la valeur maximale des jugements en continu n'ont une relation linéaire avec la valeur du jugement global. Par contre, les valeurs du jugement global des stimuli jugés les plus forts (1, 10, 14, 12, 17, 18, 19, 20, 21) suivent très bien la même loi de variation en fonction de la valeur maximale. En d'autres termes, l'augmentation de la valeur du jugement global correspond à une loi de puissance fonction de la valeur maximale des jugements en continu. L'exposant de la fonction ainsi associée est tel qu'une augmentation de 10 dB de la valeur maximale correspond une augmentation de 16 dB du jugement global. Même si les données semblent plus dispersées, le jugement global suit une relation similaire en fonction de la moyenne des jugements continus.

Un autre aperçu des résultats est représenté sur la figure 8.10. La valeur du jugement global apparaît de manière systématique comprise entre le maximum et la moyenne des jugements en continu à l'exception des sons 1, 2, 3, 6, 7, 8 qui sont extraits du même modèle de voiture.

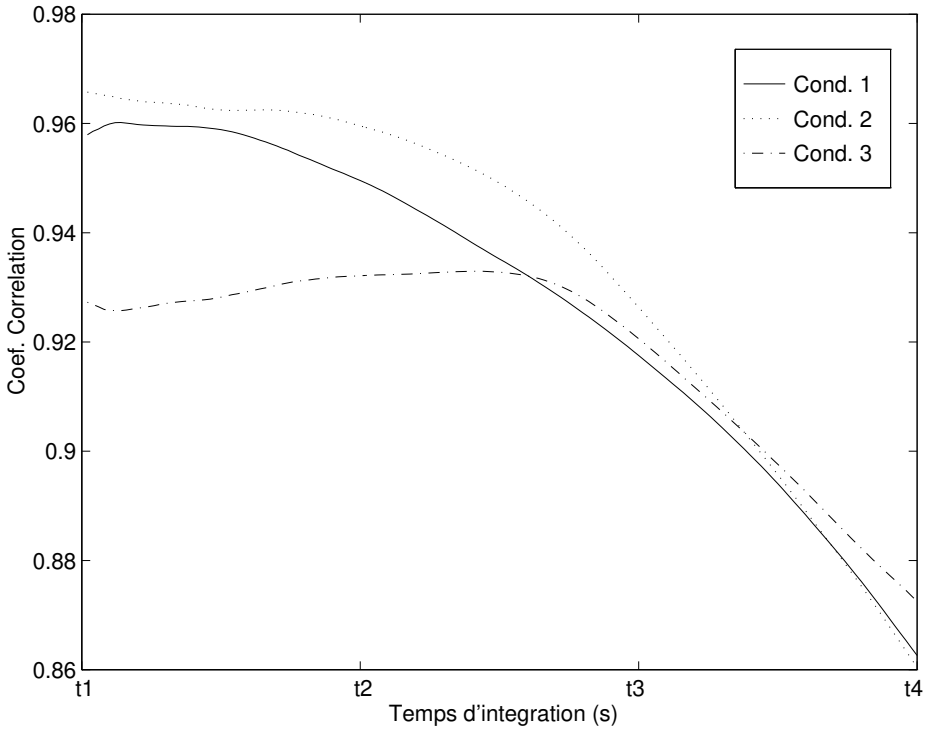

Figure 8.8˚: Repr sentation du coefficient de corr lation entre les valeurs du jugement global et les valeurs des jugements continus int gr s sur une fen tre temporelle de dur e variable, sur l'ensemble des stimuli. La

dur e de la fen tre varie entre 100˚ms et t4 [30]˚s avant la fin des sons. Les courbes sont trac es pour les trois conditions.

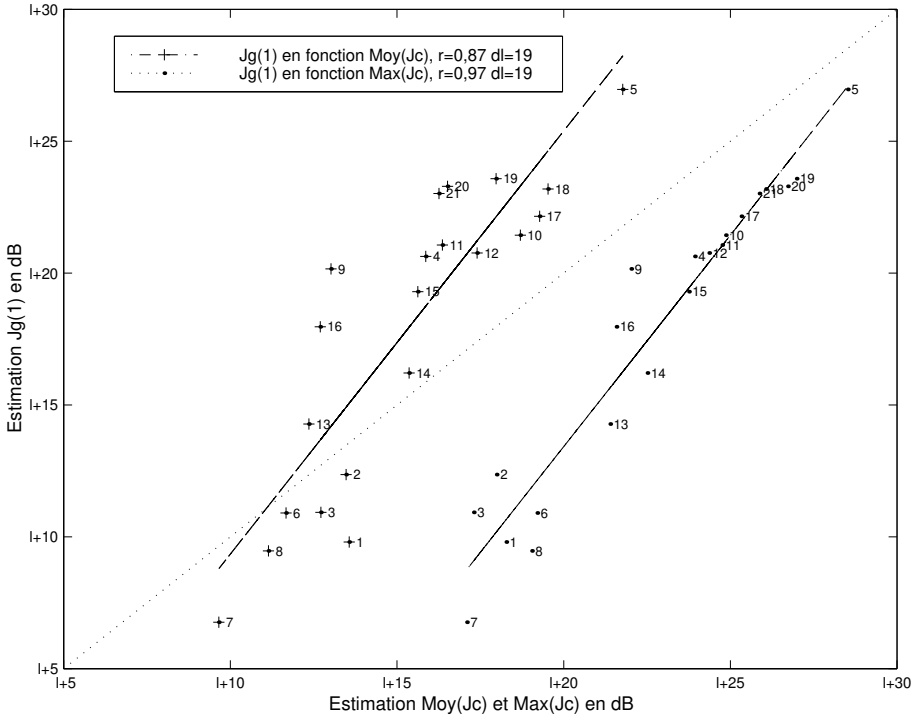

Figure 8.9˚: Les valeurs moyennes du jugement global Jg(1) sur l'ensemble des sujets sont repr sent es dans la premi re condition en fonction de la moyenne Moy(Jc) et du maximum Max(Jc) des jugements continus.

[30] Pour des raisons de confidentialit , les valeurs de t1, t2, t3 et t4 ne sont pas donn es sur la figure 8.8. De la m me mani re, les nivaux absolus ne sont pas indiqu s sur les figures 8.9 et 8.10. Les niveaux sont repr sent s en relatif par rapport un niveau de r f rence *l*.

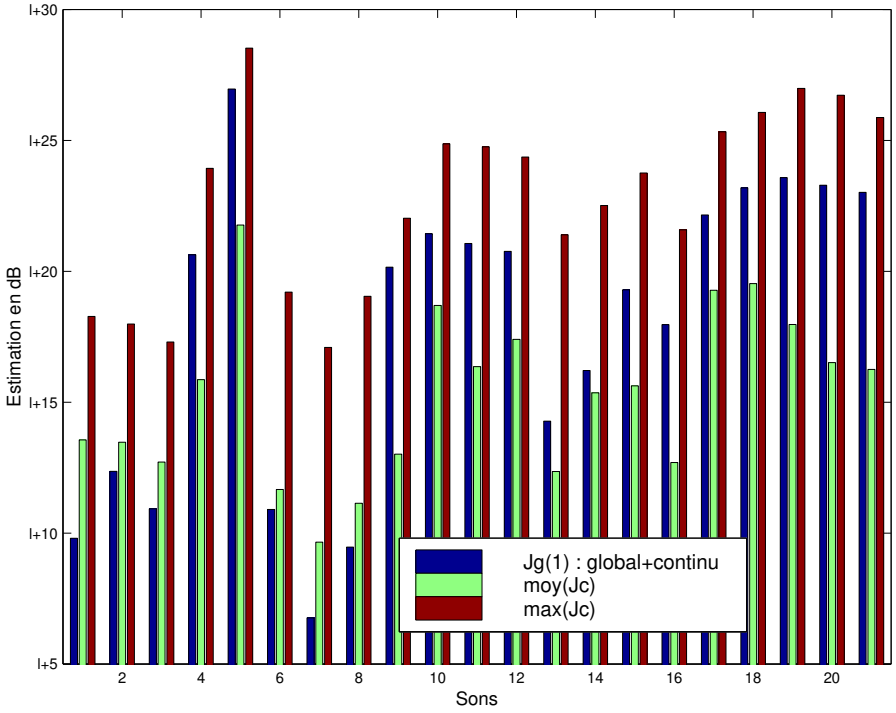

Figure 8.10˚: Les valeurs moyennes du jugement global Jg(1), la moyenne Moy(Jc) et le maximum Max(Jc) des jugements continus sont repr sent s pour chacun des sons test s.

8.5 Conclusion

Les résultats obtenus montrent tout d'abord que la méthode par appariement inter-modal permet d'évaluer rapidement des fonctions psychophysiques individuelles de manière significative (voir les coefficients de corrélation, table au 8.1). Sur l'ensemble des sujets, la fonction psychophysique évaluée (a à = 0,28) est quasi-linéaire sons purs de 1000 Hz (a = 0,29) dans les mêmes conditions expérimentales. Les résultats de la figure 8.1 montrent que la sonie des sons de voiture évolue selon en fonction de la pression acoustique en µPascal. Sachant que la fonction proprioceptive associée au dispositif correspond à une fonction de puissance dont l'exp 1,8, il est possible de déduire directement la forme de la fonction caractérisée par un exposant de valeur 0,5 (0,28*1,8).

L'expérience principale a été segmentée en trois conditions. Les données obtenues dans les trois conditions sont fortement corrélées. L'hypothèse émise concernant à indique que les valeurs obtenues pour le jugement global sont dépendantes de la fin du signal, c'est-à-dire plus que la fin du signal correspond au maximum des jugements continus. Il existe une très bonne relation entre le jugement global et le maximum des

jugements en continu correspondant à une fonction de puissance dont l'exposant pour valeur 1,6. D'autre part, l'intégration des jugements réalisés sur quelques secondes avant la fin du signal prédit aussi très bien les valeurs du jugement global obtenues pour les sons de voiture en phase d'accélération.

L'observation des profils des jugements continus indique deux principales stratégies d'écoute. La comparaison des profils en fonction des valeurs de l'indi permis de distinguer globalement deux groupes de sujets. Les profils d traduisent les contours en intensité des signaux. Ceux produits par l'autre groupe correspondent à des fonctions monotones similaires aux variations fréquentielles provoquées par l'augmentation de la vitesse du moteur. Ces différences semblent être à première vue, la conséquence du niveau d'initiation des auditeurs. Quoiqu'il en soit, ces résultats montrent que le jugement une tâche moins évidente qu'il y paraît. Donc en fonction de la finalité d'une expérience, il apparaît qu'il peut être nécessaire d'utiliser une catégorie de sujets entraînés à ce type de jugements, surtout pour ce qui est des stimuli dont les attributs auditifs semblent évoluer de manière similaire (ici, la fréquence et l'amplitude).

Par ailleurs, peu d'indications significatives ont pu être mises en évidence l'influence des caractéristiques physiques manipulées sur les signaux, les jugements en continu que sur le jugement global. Les jugements en intensité sont légèrement plus faibles lorsque la bosse est supprimée. Par ailleurs, les jugements sont plus élevés lorsque la partie bruitée du signal est éli

Finalement, les données obtenues à partir de sons enregistrés dans des habitacles de voitures nous ont permis de mieux cerner les processus de jugement mis en jeu. Néanmoins, étant donné que les paramètres spectro-temporels des sig être contrôlés, il n'a pas été possible de déterminer clairement leur influence. Dans le dernier chapitre, nous mettrons en place un environnement permettant de contrôler différents paramètres par synthèse afin de compléter les résultats ob

9 Expérience 10 : contrôle et évalua des caractéristiques temporelles d de véhicules

Les expériences réalisées dans le chapitre précédent ont permis d'étudier la sonie de sons enregistrés dans des habitacles de voitures lors d'une phase d'accélération. L'analyse des données a mis en évidence des processus caractéristiques dans les jugements de la sonie. Cependant, aucun indice n'est apparu sur les relations de cause à effet paramètres physiques des signaux et les jugements obtenus. Dans le but d'étudier plus précisément les caractéristiques d'évolution temporelle d'un régime de mouvement accéléré d'une phase d'accélération ou de décélération, un environnement de sonde de vehicule a été élaboré selon des schémas simples de caractéristiques acoustiques spectro-temporelles. Ce jeu de paramètres de l'algorithme de synthèse devrait nous permettre de mieux comprendre les stratégies de jugement de la sonie en fonction des variations du sig

9.1 Introduction

Les expériences réalisées dans un premier temps sur des sons purs puis sur des sons réels d'accélération de voiture ont permis de révéler des indices sur les facteurs dominants liés au jugement global (effet de récence, durée d'émergence). Les résultats obtenus avec les sons enregistrés (accélération) montraient une forte dépendance entre le jugement global et le jugement en fin de présentation. Celui-ci correspond en général au maximum perçu. Une hypothèse consisterait donc à assimiler ce résultat à la valeur maximale du signal quelle que soit la distribution temporelle de l'énergie et du signal du profil glob (Kuwano, Namba, 1985; Fastl, 1991).

Une autre hypothèse est de considérer une fenêtre temporelle d'oubli dont la constante d'intégration dépendrait des interférences provoquées au cours du signal. En d'autres termes, dans le cas d'une accélération dont le niveau en fin de présentation est élevé, la fenêtre temporelle serait réduite aux derniers échantillons (constante d'intégration réduite). Un calcul réalisé sur les données obtenues dans le chapitre précédent nous a

amené à considérer une fenêtre temporelle d'une durée comprise entre 3 et 8 secondes pour des sons correspondant des phases d'accélération dont la durée variait entre 19 et 62 secondes. Il est apparu que le jugement global est fortement dépendant du niveau perçu en fin de présentation, et dépend peu des variations antérieures. Ceci nous fait supposer que l'augmentation du niveau sur les derniers échantillons provoque une interférence mésique similaire à l'effet de suffixe mis en évidence dans le domaine de la mémoire. Rappelons que l'effet de suffixe correspond à un stimulus qui produit une atténuation de la capacité de rappel des stimuli le précédant. Aussi, si le niveau est conservé globalement constant sur la durée totale de la phase d'accélération, on peut imaginer que la constante d'intégration de la fenêtre temporelle d'oubli devrait être assez grande pour tenir compte d'une grande partie des variations du signal dans le jugement global. Dans ce cas, on peut s'attendre à un rapprochement entre le jugement global et la valeur moyenne des jugements continus.

Dans la suite, nous adoptons la deuxième hypothèse qu'un certain nombre de données obtenues jusqu'ici tendent à vérifier. L'expérience, présentée avec dans ce des sons dont les profils temporels sont contrôlés par synthèse, devrait permettre de tester cette hypothèse. En d'autres termes, dans une tâche de jugement global de la sonie, un effet de similaire à celui mis en évidence avec les profils des sons purs du chapitre 6 ?

Nous commencerons par étudier les différents paramètres nécessaires à l'élaboration du synthétiseur de sons de voiture (§9.3.1 au §9.3.3) à partir d'analyses effectuées sur des sons enregistrés. Le paragraphe 9.3.4 présente un ensemble de facteurs dont il serait intéressant d'étudier la pertinence perceptive dans le cas d'une variation du régime moteur. Ces facteurs ont été déterminés à partir des résultats d'expériences précédentes et de l'expertise des partenaires impliqués (Renault et PSA). L'ensemble de ces paramètres présentés dans différentes produit un grand nombre de stimuli (450). Dans un souci de minimiser la durée de l'expérience et d'obtenir des résultats soulignant des tendances dominantes d'autre part, l'étude sera réduite à un nombre moindre important de stimuli (38) selon un plan d'expérience qui vise à mettre en valeur l'influence de chaque paramètre et les principales interactions entre eux (§9.3.5). Les consultations dans l'expérience et les spécificités correspondantes sont présentées dans le paragraphe 9.3.6. Puis la procédure de calibration et la procédure de l'expérience principale seront décrites au paragraphe 9.5. Les résultats de l'expérience principale seront présentés et discutés dans le paragraphe 9.6.

Ainsi, en décomposant les variations temporelles des différents facteurs, nous examinerons dans quelle mesure le jugement global d'une phase d'accélération dépend du maximum perçu en fin d'accélération comme le montrent les résultats du chapitre

9.2 Sujets

Un groupe de 20 sujets a participé à l'ensemble de l'expérience (13 hommes et 7 femmes). Leur âge variait entre 24 et 39 ans. Chacun des sujets a été soumis à une phase d'entraînement pour chacune des tâches. Aucun des sujets s'est mentionné avoir une déficience auditive.

9.3 Stimuli

9.3.1 Description générale des caractéristiques du synthétiseur voitures

Le son à l'intérieur d'un habitacle de voiture est composé d'une manière schématique de deux types de sonorité : une sonorité harmonique et une sonorité non harmonique. La première correspond au moteur du véhicule et, la deuxième, aux bruits créés par les phénomènes de turbulence aérodynamique et par les vibrations véhicule-route au contact de la chaussée.

Le rapport d'énergie entre ces différentes parties est fonction de la vitesse du véhicule. En effet, le spectre de la partie harmonique dépend de la vitesse de rotation du moteur ainsi que du rapport de la boîte à vitesse. Pour certains rapports, par exemple en 3ème vitesse à 4000 tours/minute, le bruit issu du moteur est prédominant par rapport à une configuration dans laquelle le véhicule roule en 5ème vitesse à 3500 tours/minute. Dans cette situation, les composantes spectrales du bruit aérodynamique et du bruit de roulement ne sont plus négligeables et masquent une importante zone spectrale de la partie harmonique.

D'autres types de bruits peuvent émerger : ceux provenant de craquements ou de chuintements ou des équipements du véhicule (tableau de bord, boîte à gants, plage arrière ...), provenant des diverses configurations souhaitées par l'utilisateur (voiture entrouverte, essuie-glaces, ...), signaux, bruits "gri-gri". Ces bruits "parasites" ne seront pas considérés dans la suite de cette expérimentation.

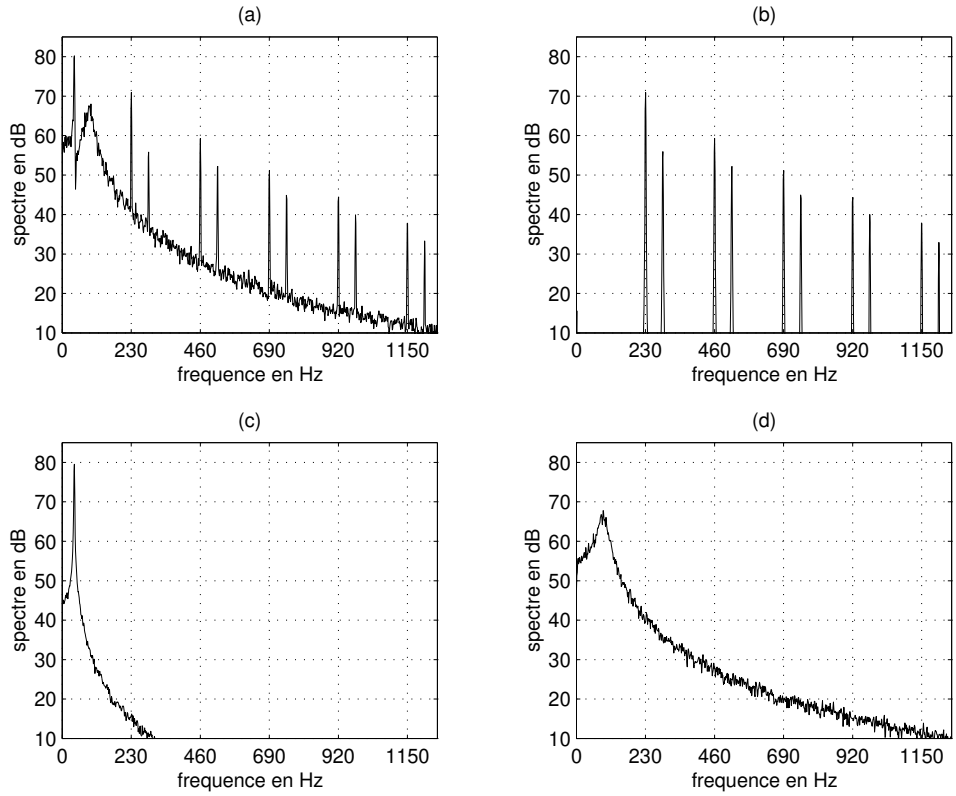

Figure 9.1˚: Spectre du signal - (a) Combinaison des trois composantes - (b) Partie harmonique, moteur - (c) Roulement (contact de la chausse) - (d) Partie aérodynamique

Par choix de simplification seul l'évolution temporelle de la partie harmonique sera étudiée en fonction de différents modes de fonctionnement. Pour chacun des modes, un ensemble de facteurs sera fixé (voir Tableau 9.1, § 9.3.4). Les caractéristiques de la partie harmonique sont présentées au paragraphe 9.3.2. Dans un souci de réalisme, le bruit aérodynamique et le bruit de roulement sont conservés et présentés de manière équivalente pour chacune des configurations choisies. Les caractéristiques de ces deux bruits sont présentées au paragraphe 9.3.3. La combinaison spectrale de ces trois sources de bruit est représentée sur la figure 9.1.a.

9.3.2 Partie harmonique : moteur

Sur la durée totale de l'accélération, la fréquence 2N[31] évolue entre 25 et 230 Hz, ce qui correspond à un changement du régime moteur allant de 750 tours/minute à 6900 tours/minute. Différents types d'évolution en régime et en amplitude de l'harmonique 2N seront envisagés.

La configuration spectrale choisie est composée des cinq premières harmoniques du spectre (2N, 4N, 6N, 8N et 10N) et aux sous-harmoniques associées (2,5N, 4,5N, 6,5N, 8,5N, 10,5N). Les atténuations relatives en dB par rapport à la fréquence 2N sont respectivement :

$Att_{2N} = 0dB$, $Att_{4N} = -12dB$, $Att_{6N} = -18dB$, $Att_{8N} = -25dB$ et $Att_{10N} = -32dB$.

$Att_{2.5N} = -14dB$, $Att_{4.5N} = -17dB$, $Att_{6.5N} = -26dB$, $Att_{8.5N} = -30dB$ et $Att_{10.5N}$

Le spectre correspondant est représenté sur la figure 9.1.b pour une valeur de l'harmonique 2N de 230 Hz et 70 dB, respectivement en fréquence et en amplitude. Chacune des harmoniques est synthétisée par un oscillateur sinusoïdale i

Certaines voitures présentent une forte résonance dans les basses fréquences en début d'une phase d'accélération, ou inversement, en fin d'une phase de décélération, appelée "bosse de bourdonnement". L'effet de cette résonance sur le jugement global a été observé en fonction des différentes combinaisons possibles des caractéristiques c à l'aide d'un filtre passe-bande. Ce résonateur agit sur l'harmonique principale 2N. Il est caractérisé par sa fréquence centrale (f_c = 50 Hz), sa largeur de bande ($L_{2N}+L_0$, $L_{2N}+L_1$, $L_{2N}+L_2$). Notons que la condition L_0 correspond à une résonance nulle, c'est-à-dire que L_0 = 0. Les valeurs de L_1 et de L_2 sont respectivement

9.3.3 Partie non harmonique : bruit aérodynamique et bruit de

Le bruit aérodynamique correspond à un bruit large bande filtré dont l'énergie est située dans les basses fréquences. De même, le bruit de roulement correspond à un bruit filtré avec une pente très raide dans les très basses fréquences. Enfin, des analyses réalisées sur des signaux réels enregistrés à l'intérieur d'habitacles de voitures,

[31] Mais qu'appelle-t-on harmonique 2N, 3N et 0.5N par rapport au r gime moteur exprim en tours par minute (tr/mn) et par rapport la notion usuelle d'harmonique en physique° ? N est le nombre de tours par seconde ou encore la fr quence du r gime moteur. Dans le cas d'un moteur quatre temps, il se produit une explosion tous les deux tours moteur, ce qui correspond une fr quence fondamentale de 0.5N Hz, soit la s rie harmonique compos e de multiples de 0.5N. Cependant l'effort des constructeurs est port sur un bon quilibre entre les harmoniques paires et le reste des harmoniques.

d'autre part, d'une réglage réalisé à l'oreille sur les paramètres des filtres utilisés, une configuration spectrale pour chacun des deux bruits a été prédéfinie. Notons que ce paramétrage dépend aussi de la chaîne de rediffusion utilisée (convertisseur, ampli et bande passante du casque). Pour modéliser chacun des bruits, aérodynamique et roulement, un bruit blanc a été généré et filtré par un filtre passe-bande par une fréquence centrale (f_c Hz) et sa largeur de bande (Δ Hz). Ainsi les valeurs des paramètres sont respectivement :

f_c = 90 Hz et Δ = 35 Hz (aérodynamique)

f_c = 40 Hz et Δ = 2 à 3 Hz (roulement)

Les spectres correspondants sont représentés sur les figures 9.1.c et

A vitesse élevée, ces deux types de bruit ont à peu près une amplitude, le profil temporel appliqué avec le synthétiseur correspond à une augmentation linéaire en amplitude sur toute la durée de l'accélération spectre constant. En fin d'accélération, les niveaux crêtes du bruit aérodynamique et du bruit de roulement sont respectivement 70 dB et 80 dB.

9.3.4 Définition des paramètres et des modes d'entrée

Les profils des jugements continus (Chapitre 8) ont montré l'existence de la perception de la sonie en continu pour des variations du régime moteur : certains profils indiquent bien les contours d'intensité des signaux, d'autres sont corrélés avec l'évolution harmonique (2N). Dans le but de déterminer l'influence de l'évolution harmonique, trois courbes de variation du régime moteur seront utilisées évoluant entre 25 et 230 Hz sur des durées identiques. Les trois fonctions choisies sont des fonctions de puissance x^{α} avec α = [0,5 1 2] correspondant respectivement à une fonction convexe (accélérée), une fonction linéaire et une fonction concave (ralentie). Voir figure 9.2

Notons que ce facteur correspond davantage à une situation dans laquelle le conducteur est en interaction avec le véhicule. Il faut donc considérer l'influence de ce facteur qui interviendrait dans un contexte intégrant différents comportements du conducteur dans une phase d'accélération.

Les résultats obtenus sur des sons réels d'accélération de voiture indiquent que les jugements sont principalement influencés par les contours d'intensité en fin d'une phase d'accélération. Afin de confirmer, trois profils linéaires d'intensité en dB seront testés variant entre les niveaux $[L_{début} - L_{fin}]$ = {[70-70], [70-75], [70-80]} (figure

9.2.b). Ces trois profils correspondent respectivement à des variations du niveau acoustique de 0, +5 et +10 dB selon une pente linéaire.

Ces profils seront comparés avec des profils non monotones en amplitude présentant soit des bosses, soit des creux. Les modulations seront réalisées par une atténuation sinusoïdale en dB d'une demi-période (creux) ou positive (bosse) autour du profil linéaire. La largeur et l'amplitude de ces deux bosses sont respectivement de 6 secondes et ± 6 dB crête (figure 9.3).

La bosse de bourdonnement du 2N est plus ou moins prédominante en début d'accélération et varie en fonction du type d'accélération lente ou rapide. Son influence pourra être testée en combinant les trois courbes précédemment décrites. La bosse de bourdonnement est modélisée par un filtre passe-bande caractérisé par sa fréquence centrale f_c, son coefficient de qualité et son niveau.

L'effet de la bosse de bourdonnement peut avoir une importance relative selon qu'elle apparaît en début ou en fin d'une séquence correspondant aux deux cas suivants : phase d'accélération et phase de décélération. Ainsi, certaines configurations seront évaluées dans des situations d'accélération et de décélération. Les profils inversés permettront de comparer les résultats obtenus pour un même profil présenté respectivement en mode ascendant et en mode descendant.

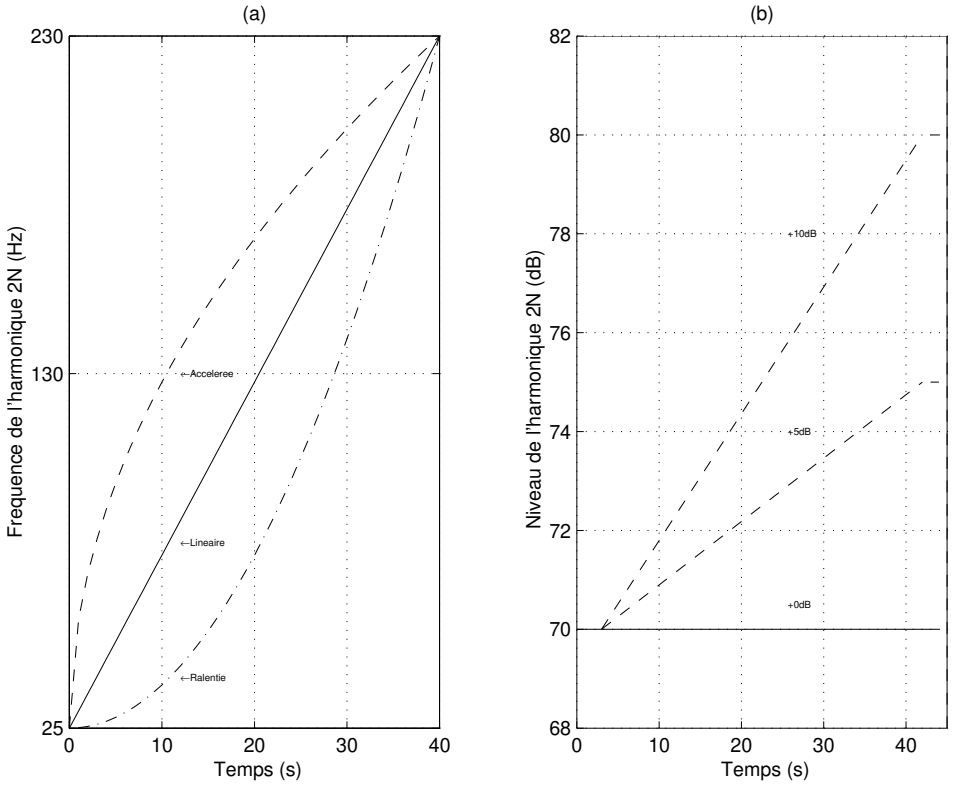

Figure 9.2˚: - (a) Profils en fr quence de l harmonique 2N˚: acc l r , lin aire et ralenti - (b) Profils en niveau de l harmonique 2N˚: pente +10, +5 et 0˚dB.

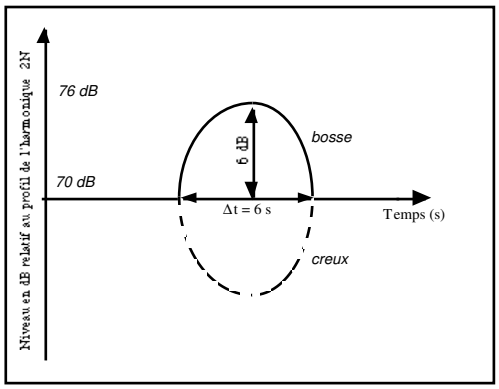

Figure 9.3˚: Profil en niveau avec bosses (traits pleins) ou creux (traits bris s), exemple de la condition avec L_0˚=˚0 et L_{fin}˚=˚70˚dB.

L'ensemble des facteurs choisis et leurs modes d'action sont résumés dans le tableau 9.1.
L'intérêt de chacun des facteurs a été déterminé en fonction de la conception

et de la performance d'une voiture. Un nombre minimum de valeurs (deux en moyenne) pour chaque facteur est retenu afin de minimiser le coût de l'expérience. Lorsque les facteurs dominants seront identifiés, il pourra être envisagé dans une étape ultérieure d'utiliser un nombre plus important de valeurs.

Deux niveaux sont considérés : le niveau en début de fréquence nommé $L_{début}$ et le niveau de la fréquence en fin de régime nommé L_{fin} avec :

$f_{début}$ = 25 Hz

f_{fin} = 230 Hz

$L_{début}$ et L_{fin} sont toujours égaux à 70 dB dans une phase respective d'accélération et de décélération.

Facteurs	Modes	Nbr.	Int r t
A - Bourdonnement (R sonance, f_c˚=˚50˚Hz)	**1** - Niveau de la r sonance : L = [L_0, L_1, L_2] (L_0 = 0* par d faut) **2** - Largeur de la r sonance˚:˚ (Δ1, Δ2) Mont e (+) / Descente (-) en r gime	5	+++
B - Profil de variation globale du niveau harmonique	**1** - Lin aire (par d faut) **2** - Lin aire + Nbr. de bosses, 2 cas : Nbr. Bosses = [1, 3] **3** - Lin aire + Nbr. de creux, 2 cas : Nbr. Creux = [1, 3]	5	+++
C - Niveau en fin d acc l ration ($L_{d\ but}$=70˚dB)	**1** - Fort : L_{fin} = 80˚dB **2** - Moyen : L_{fin} = 75˚dB (par d faut) **3** - Faible : L_{fin} = 70˚dB	3	++
D - Profil de variation du r gime moteur	**1** - Acc l r : $\alpha > 1$ **2** - Lin aire : $\alpha = 1$ (par d faut) **3** - Ralenti : $\alpha < 1$	3	+

Tableau 9.1˚: Synth se des facteurs tudi s, leurs modes d action, le nombre de modes choisis et l int r t des facteurs dans le cadre de l tude. La marque * indique que le param tre Δ n a pas de sens pour L_0.

9.3.5 Choix des configurations

L'ensemble des configurations possibles (croisement des facteurs A, B, C et D du tableau 9.1) sur les paramètres donne 450 stimuli avec :

- trois valeurs pour le niveau de la résonance (L_0, L_1, L_2),

- deux valeurs de la largeur de bande du filtre de résonance,

- deux types de profil de niveau à bosses et à creux (3 bosses, 1 bosse,

Il apparaît clairement un besoin de réduire le nombre de configurations. Le choix se fait sur l'intérêt des facteurs testés et la pertinence de leur interaction. Dans ce but, trois groupes de configurations sont considérés de manière indépendante, ce qui réduit considérablement le nombre des stimuli :

- Configurations intégrant les facteurs A et C [AC], avec par défaut une variation linéaire du niveau global (B-1) et du régime moteur (D-2).

Ce groupe comprend 30 stimuli.

- Configurations intégrant les facteurs B et C, [BC], avec par défaut une variation linéaire du régime moteur (D-2) et aucune bosse de bourdonnement (A-1

Ce groupe comprend 12 stimuli.

- Configurations intégrant les facteurs A et D, [AD], avec par défaut une variation linéaire du niveau global (B-1) et une valeur moyenne d'accélération (Lfin = 75 dB).

Ce groupe comprend 20 stimuli.

Soit un total de 62 stimuli dont chacun de quelques secondes, requiert 44 responses, environ 60 minutes d'expérience par audiomètre. Etant donné la tâche effectuée (évaluation en temps réel), cette durée est encore trop importante. De plus certaines combinaisons ne sont pas prioritaires au regard des objectifs de l'étude.

Afin de procéder à une réduction des l'intérêt des différents facteurs étudiés est pris en compte (voir tableau 9.1). Dans cet optique, les régimes moteur accélérés (D-1) et ralentis (D-3) sont considérés uniquement dans le mode accélération (+), de même pour l'interaction [BC] dans les cas comprenant les bosses (B-2) et les

De plus pour l'interaction [BC], deux niveaux (70 et 80) sur les trois s

Il est important de tester l'effet de la bosse de bourdonnement par dans rapport au niveau en fin d'accélération. En revanche, il n'est pas aussi jud qu'à l'effet produit par la largeur du bourdonnement dans le cas d'une décélération. Il est fort probable que la bosse de bourdonnement aura un effet en fin de décélération. Aussi, nous avons fait le choix d'examiner l'effet principalement en fonction de la largeur, toujours dans le but de minimiser le coût de l'expérience. Il est apparent en fonction de la largeur, il y aura sûrement un effet en fonction de son amplitude.

Les tableaux résumant les trois groupes de configurations utilisées pour l'expérience sont présentés ci-dessous. Les lignes grisées des tableaux 9.3 et 9.4 signifient que ces configurations sont prises en compte dans le tableau 9.1 correspondant aux configurations du groupe [AC].

[AC]		Mont e (A-3)		Descente (A-3)	
		Δ1 (A-2)	Δ2 (A-2)	Δ1 (A-2)	Δ2 (A-2)
L_{fin} = 80 dB (C-1)	L_1 (A-1)	5	5	5	5
	L_2 (A-1)	5	5		
	L_0 (A-1)*	5		5	
L_{fin} = 75 dB (C-2)	L_1 (A-1)	5	5	5	5
	L_2 (A-1)	5	5		
	L_0 (A-1)*	5		5	
L_{fin} = 70 dB (C-3)	L_1 (A-1)	5	5	5	5
	L_2 (A-1)	5	5		
	L_0 (A-1)*	5		5	

Tableau 9.2°: Combinaison des conditions de bourdonnement et du niveau en fin d'une phase d'acc l ration ou en d but d'une phase de d c l ration [AC] avec une variation lin aire du niveau global (B-1) et du r gime moteur (D-2). Le cas marqu * correspond un niveau nul de la bosse de bourdonnement pour lequel la configuration avec la largeur de bourdonnement n a pas de sens.

[BC]		L_{fin} = 80 dB (C-1)	L_{fin} = 70 dB (C-3)
B-1	Lin aire	5	5
B-2	Nbr. Bosses = 1	5	5
	Nbr. Bosses = 3	5	5
B-3	Nbr. Creux = 1	5	5
	Nbr. Creux = 3	5	5

Tableau 9.3˚: Combinaison des conditions de profil en niveau et du niveau en fin d'une phase d'acc l ration [BC] avec variation lin aire du r gime moteur (D-2) et sans bosse de bourdonnement (A-1, L˚=˚L0)

[AD]		Δ1 (A-2)	Δ2 (A-2)
Acc l r : α > 1 (D-1)	L_1 (A-1)	5	5
	L_2 (A-1)		
	L_0 (A-1)*	5	
Lin aire : α = 1 (D-2)	L_1 (A-1)	5	5
	L_2 (A-1)	5	5
	L_0 (A-1)*	5	
Ralenti : α < 1 (D-3)	L_1 (A-1)	5	5
	L_2 (A-1)		
	L_0 (A-1)*	5	

Tableau 9.4˚: Combinaison des conditions de bourdonnement et de profil en fr quence du r gime moteur [AD] avec une variation lin aire du niveau global (B-1) et une valeur moyenne du niveau en fin d acc l ration (L_{fin}˚=˚75˚dB). Le cas marqu * correspond un niveau nul de la bosse de bourdonnement pour lequel la configuration avec la largeur de bourdonnement n a pas de sens.

En résumé, la comptabilité des configurations donne un total de 38 stimuli (24, 8 et 6 respectivement pour les tableaux 9.2, 9.3 et 9.4), ce qui correspond à une expérience d'une durée d'environ 30 minutes.

9.3.6 Liste de sons

Le tableau 9.5 présente la liste des sons de synthèse réalisés en fonction des modes et des facteurs prédéterminés au § 9.3.4. La première colonne indique le numéro du son. La deuxième colonne définit le type d'accélération (α) et de décélération (lin aire). La troisième colonne donne la valeur du niveau de l'harmonique 2N en fin d'accélération (L_{fin}). La quatrième colonne indique la caract ristique du profil (avec ou sans bosse de bourdonnement (résonance large ou étroite), ou sans bosse).

dernière colonne correspond à la valeur du niveau de la bosse de bourdonnement en dB ($L_{2N}+L_1$, $L_{2N}+L_2$).

N°	Type	$L_{fin/Début}$	Caractéristique	Niveau résonance	Configuration
01	linéaire	80dB			[AC]
02	linéaire	75dB			
03	linéaire	70dB			
04	linéaire	80dB	résonance large	90dB	
05	linéaire	75dB	résonance large	90dB	
06	linéaire	70dB	résonance large	90dB	
07	linéaire	80dB	résonance étroite	90dB	
08	linéaire	75dB	résonance étroite	90dB	
09	linéaire	70dB	résonance étroite	90dB	
10	linéaire	80dB	résonance large	100dB	
11	linéaire	75dB	résonance large	100dB	
12	linéaire	70dB	résonance large	100dB	
13	linéaire	80dB	résonance étroite	100dB	
14	linéaire	75dB	résonance étroite	100dB	
15	linéaire	70dB	résonance étroite	100dB	
16	ralentie	75dB			[AD]
17	ralentie	75dB	résonance étroite	90dB	
18	ralentie	75dB	résonance large	90dB	
19	accélérée	75dB			
20	accélérée	75dB	résonance étroite	90dB	
21	accélérée	75dB	résonance large	90dB	
22	linéaire	80dB	1 bosse		[BC]
23	linéaire	70dB	1 bosse		
24	linéaire	80dB	3 bosses		
25	linéaire	70dB	3 bosses		
26	linéaire	80dB	1 creux		
27	linéaire	70dB	1 creux		
28	linéaire	80dB	3 creux		
29	linéaire	70dB	3 creux		
30	inv linéaire	80dB			[AC]
31	inv linéaire	75dB			
32	inv linéaire	70dB			
33	inv linéaire	80dB	résonance large	90dB	
34	inv linéaire	75dB	résonance large	90dB	
35	inv linéaire	70dB	résonance large	90dB	
36	inv linéaire	80dB	résonance étroite	90dB	
37	inv linéaire	75dB	résonance étroite	90dB	
38	inv linéaire	70dB	résonance étroite	90dB	

Tableau 9.5° : Liste des sons de synthèse correspondant à une phase d'accélération ou de décélération d'un véhicule. La première colonne indique le numéro du stimulus correspondant à une configuration donnée. La deuxième colonne précise le type de profil en amplitude appliqué (croissance linéaire x^1, décroissance linéaire x^{-1}, croissance concave x^2, croissance convexe $x^{0.5}$). La troisième colonne donne la valeur du niveau en début et en fin d'une variation du régime moteur. La quatrième colonne énonce la caractéristique d'une configuration donnée. La dernière colonne indique le niveau de la bosse de bourdonnement lorsqu'elle est présente dans une configuration donnée.

9.4 Appareillage

Les sons sont synthétisés en temps réel à l'aide du logiciel Max et échantillonnés à 44,1 kHz sur une station de travail NeXT équipée d'une carte DSP. Les convertisseurs N/A de la carte DSP fonctionnent sur 16 bits. Les sons sont ensuite filtrés par un filtre passe-bas à 20 kHz avant d'être amplifiés par un amplificateur stéréophonique Sansui. Les sons sont diffusés en écoute diotique à travers un casque audio Sennheiser HD 540 Reference. La présentation des stimuli ainsi que les paramètres du synthétiseur sont gérés par le programme expérimental.

9.5 Procédure

9.5.1 Etalonnage et fonction d'appariement individuelle

Les fonctions psychophysiques d'appariement sont évaluées individuellement pendant la phase d'étalonnage. Sept sons correspondant à la partie harmonique (voir spectre, figure 9.1 du chapitre précédent) de niveaux acoustiques respectifs 64, 67, 70, 73, 76, 79 et 82 dB SPL sont diffusés aux auditeurs. La fréquence F0 à laquelle sont présentés les sons est 150 Hz. La durée de présentation de chacun des stimuli est de 1 seconde.

La procédure est similaire à celle présentée dans les chapitres précédents. En moyenne la durée individuelle nécessaire pour cette phase est de cinq minutes.

Pour chacun des sujets, la fonction d'appariement individuelle est obtenue et caractérisée par le couple (a_i, b_i) de l'équation 6.2. Le tableau 9.6 présente les couples (a_i, b_i) pour l'ensemble des 20 sujets. L'observation des fonctions individuelles et des coefficients de corrélation montrent une bonne correspondance entre les données et la fonction de puissance associée pour chacun des sujets, à l'exception toutefois des sujets 5 et 18. Dans ces deux cas, la probabilité p telle que les données correspondent à une fonction de puissance échelle log-log est supérieure à 10 % ; la corrélation est non significative. Ces deux sujets sont éliminés. Globalement, la fonction d'appariement sur l'ensemble des sujets est une fonction de puissance dont l'exposant est déterminé par la valeur de la pente de la représentée en échelle log-log. Le coefficient de régression sur la moyenne des données obtenues sur l'ensemble des sujets est 0,99, très proche de 1, ce qui signifie une cohérence entre les données et la fonction associée. La valeur de la pente est 0,35.

Sujet n¡	a_i	b_i	r (dl = 5)
1	0.31	-0.59	0.96
2	0.39	-1.00	0.96
3	0.54	-2.02	0.87
4	0.16	-0.07	0.94
5	0.28	-1.27	0.54 *
6	0.63	-2.33	0.83
7	0.36	-0.94	0.98
8	0.33	-0.74	0.97
9	0.22	-0.22	0.89
10	0.35	-0.79	0.89
11	0.23	-0.41	0.78
12	0.41	-1.20	0.96
13	0.71	-2.95	0.90
14	0.55	-1.99	0.88
15	0.41	-1.46	0.97
16	0.64	-2.60	0.95
17	0.56	-1.91	0.88
18	0.21	-0.69	0.59 *
19	0.31	-0.79	0.97
20	0.41	-1.53	0.84
Moyenne	0.35	-0.89	0.99

Tableau 9.6°: Coefficient de la fonction d'appariement individuelle et coefficient de r gression. Les r sultats marqu s * sont non significatifs (p°<°0,1 dl°=°5)

9.5.2 Expérience principale

Les auditeurs écoutent tout en suivant leur évolution temporelle avec le dispositif proprioceptif, c'est-à-dire en associant à chaque instant une force équivalente à l'intensité acoustique perçue. Puis, il leur est demandé d'évaluer sonal'intensité cha globale perçue sur la durée totale en associant une force musculaire équivalente. Après chaque évaluation globale, le sujet commande lui-même, en appuyant sur un bouton, la diffusion du stimulus suivant. La durée totale de l'expérience est d'

9.6 Résultats et discussion

Les résultats sont présentés et discutés par type de configuration examinée. Tout d'abord, une comparaison est effectuée entre une phase d'accélération et une phase de décélération pour différentes pentes de variation du niveau (§9.6.1). Puis, la comp introduisant une résonance sur 2N fréquence suivant deux caractéristiques (largeur de bande et amplitude). Ce cas considère donc l'interaction entre la pente de variation du niveau et la bosse de bourdonnement (§9.6.2). Par la suite, l'effet de la bosse de

bourdonnement est examinée en combinant différents profils d'évolution fréquentielle (§9.6.3). Pour finir, l'effet combiné du niveau en fin d'accélération avec des contours modulés en amplitude est observé (§9.6.4).

9.6.1 Effet de pente de changement du niveau pour des phases d'accélération et de décélération

Les trois profils en amplitude que nous considérons comme références de ceux correspondant aux trois variations linéaires du niveau (+0, +5 et +10 dB) sans autres caractéristiques. Ce sont les sons n°1, 2 et 3 pour une phase d'accélération, et les sons 30, 31 et 32 pour une phase de décélération. Ils constituent les situations les plus simples où seule la gamme de variation du niveau change.

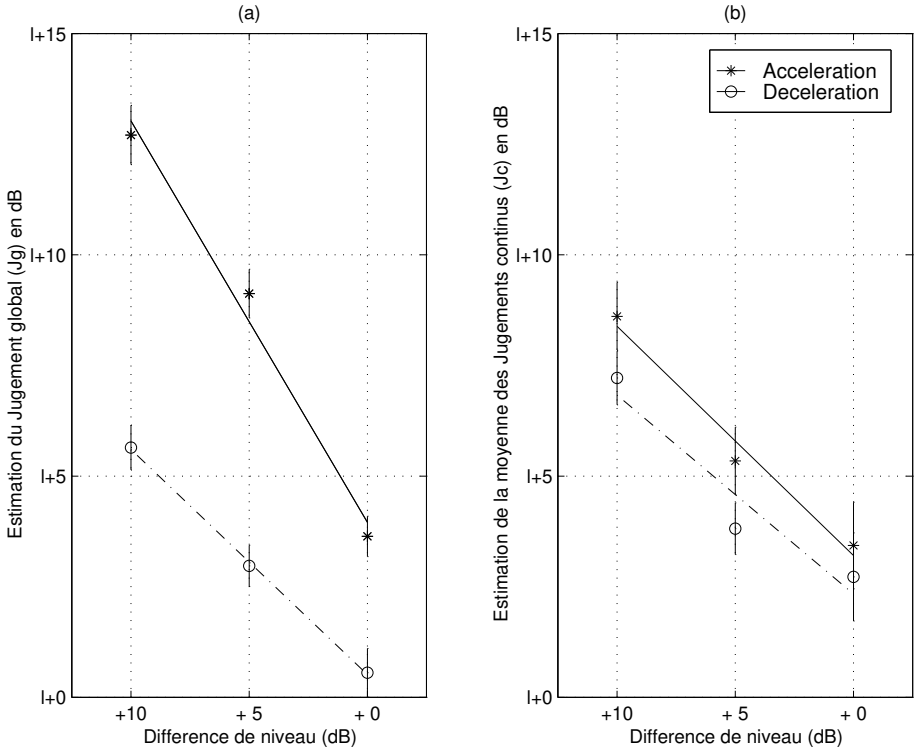

Figure 9.4˚: Jugement global (a) et valeur moyenne des jugements continus (b) obtenus pour les sons en acc l ration (*) 1, 2 et 3, et pour les sons en d c l ration (o) 30, 31 et 32 de profils lin aires en fr quence et en amplitude.

Note : Les valeurs du jugement global sont indiquées de manière relative par rapport au niveau de référence que nous ne pouvons communiquer pour des raisons de confidentialité. Notons que ce niveau de référence est identique dans tous les résultats présentés au cours de ce chapitre.

La comparaison des jugements entre 1, 2 et 3 montre la cohérence des jugements en fonction de la variation en amplitude, respectivement +10, +5 et 0 dB. Le jugement augmente de manière significative en fonction de la pente de variation du niveau (voir ANOVA, analyse 9.1 à 9.6, annexe 2). Les résultats présentés sur la figure 9.4.a sont marqués par des étoiles. Seul le jugement global obtenu pour la variation nulle (0 dB) est similaire à la valeur moyenne des jugements continus. En revanche, il apparaît une différence estimée de 4 dB entre le jugement global et la valeur moyenne des jugements continus pour les pentes de +5 et +10 dB (figures 9.4.a et b).

Sur les mêmes figures apparaissent les résultats 30, 31 et 32, représentés par des cercles, et qui correspondent aux valeurs moyennes respectivement des sons 1, 2 et 3. De manière similaire, une cohérence entre les résultats et les valeurs de la pente de variation en amplitude des sons est nettement plus faible que celle obtenue pour les phases d'accélération (figure 9.4.a). Ces résultats montrent que pour des variations symétriques en amplitude, une phase d'accélération est jugée de manière significative plus forte en intensité qu'une phase de décélération (analyse 9.4 à 9.6, annexe 2). En revanche, elles sont perçues de manière similaire en moyenne sur les jugements continus. En d'autres termes, une phase d'accélération sera jugée plus forte que la moyenne, et une phase de décélération sera jugée moins forte que l

Il apparaît donc, de nouveau, que le jugement global dépend d'une fenêtre temporelle d'oubli. Ainsi, la contribution à l'impression globale des premiers instants perçus est atténuée au profit des derniers instants perçus. Dans une phase de décélération, le maximum perçu situé au début du signal est atténué et a une contribution moins importante à l'impression globale. Ce résultat confirme les données obtenues dans les chapitres précédents (6 et 8) qui avaient mis en évidence un effet de récence sur le jugement global traduit par un phénomène de dépendance de la fin du s

9.6.2 Interactions entre la bosse de bourdonnement et la pe changement du niveau pour des phases d'accélération et de d

Avec les stimuli qui correspondent à la configuration [AC], il est possible d'examiner l'influence combinée des jugements des caractéristiques de la bosse de bourdonnement (amplitude et largeur) et de la pente de variation du niveau (0, +5,

Les données de la figure 9.5 correspondent aux valeurs du jugement global des phases d'accélération des sons numérotés de 1 à 15 (voir tableau 9.6). Les figures 9.5.a, b, etc présentent les résultats pour les stimuli dont le niveau en fin d'accélération est respectivement 80, 75 et 70 dB. Les jugements obtenus pour les trois sons

ceux ne présentant pas de bosse de bourdonnement sont marqués par des étoiles. Les symboles, carrés et cercles, correspondent respectivement à une résonanc

En moyenne, l'influence de la bosse de bourdonnement sur le jugement global apparaît lorsque la pente en amplitude (figure 9.5.c). Elle provoque une augmentation de la valeur associée à l'impression globale. En revanche, cet effet est peu prononcé et moins cohérent lorsque la pente (figure 9.5.b). Cependant, les configurations dans lesquelles la largeur et l'amplitude de la résonance sont les plus élevées, sont toujours estimées plus fortes que les configurations sans résonance bien que cet effet ne soit pas significatif (analyse 9.4 à 9.6, annexe 2).

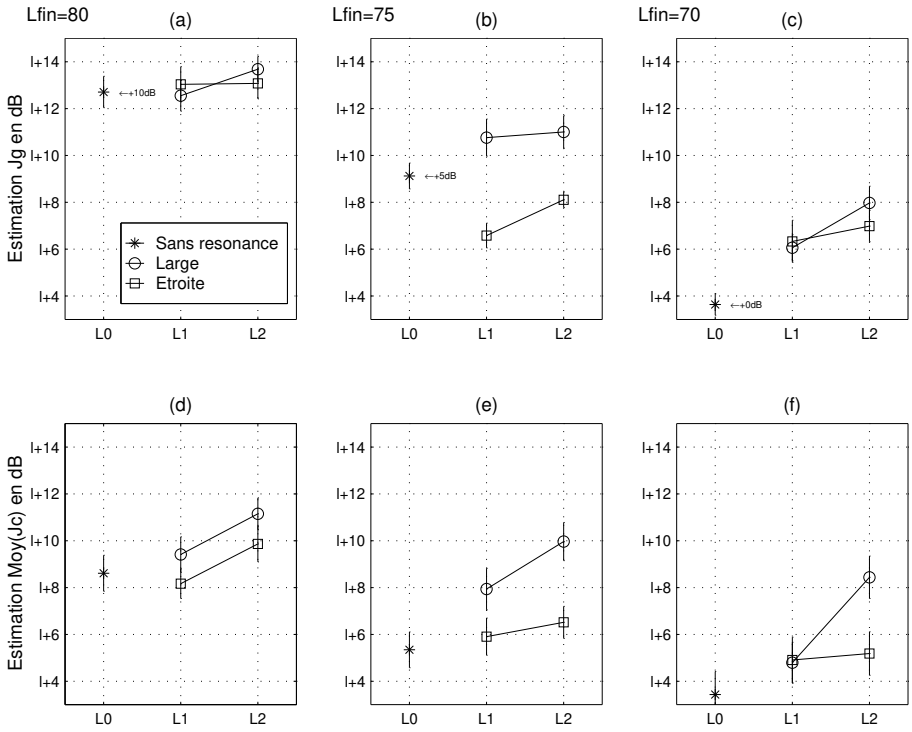

Figure 9.5˚: Jugement global (Jg) et valeur moyenne des jugements continus (Jc) en fonction de l'amplitude (L_0, L_1, L_2) et de la largeur de la r sonance de bourdonnement combin es avec trois valeurs du niveau en fin de pr sentation. Les figures [a — d], [b — e] et [c — f] repr sentent les r sultats pour un niveau en fin de 80, 75 et 70˚dB avec un niveau en d but toujours de 70˚dB.

L'observation des jugements en continu montre malgré tout que la bosse de bourdonnement s'inscrit dans les profils obtenus quel que soit le niveau en fin d'accélération (figure 9.6). Le profil est sculpté de manière différente selon que la résonance est étroite ou large. Dans un cas, on perçoit la présence d'un pic accentué (sons 7, 8, 9 et sons 13, 14, 15), dans l'autre, le fond davantage dans l'allure générale du profil, principalement pour 12. Afin de comparer de manière quantitative l'information transcrite par les profils de jugements en continu, la valeur moyenne a été évaluée pour chacun des sons. Les résultats sont représentés sur les figures 9.5.e et f. Les valeurs moyennes des jugements continus obtenues pour les sons présentant une bosse de bourdonnement sont globalement plus importantes que pour les sons 1, 2 et 3. Les données des figures 9.5.e et f retranscrivent davantage les résultats envisagés à partir des configurations établies a priori. En effet, la figure 9.5.d représentant une résonance large et étroite sont quasiment superposables. Il y a peu d'interaction entre la largeur et l'amplitude de la résonance. Le même constat peut être fait en ce qui concerne les résultats de la figure 9.5.f. En revanche, il n'apparaît pour la valeur L_1 aucune différence que la résonance soit large ou étroite, alors que l'écart est plus important pour le niveau L_2.

La comparaison des données de la figure 9.5 permet donc dans un premier temps de constater que :

- lorsqu'il n'y a pas d'augmentation du niveau acoustique sur la durée de l'accélération, le jugement global est proche de la valeur moyenne des jugements co
- lorsqu'il y a une augmentation du niveau acoustique (5 à 10 dB), il y a une surestimation d'environ 4 dB par rapport à la valeur moyenne, influencée par le niveau de présentation en fin d'accélération.
- le profil et la moyenne des jugements continus permettent de souligner la présence de la bosse de bourdonnement.
- en moyenne, l'influence de la bosse de bourdonnement sur l'impression globale dépend de son amplitude et de sa largeur. Les figures 9.5.e et f permettent de constater que leurs effets respectifs sont quasiment indépendants entre eux, d'une part, et dépendent principalement du niveau en fin d'accélération par rapport à celui présenté en début, d'autre part. Cependant, il apparaît de manière significative (via ANOVA, analyse 9.1 à 9.3, annexe 2) que le maximum perçu à la fin du stimulus est confronté à la mémoire des variations précédant (ici la bosse de bourdonnement), prédomine dans la contribution à l'estimation globale.

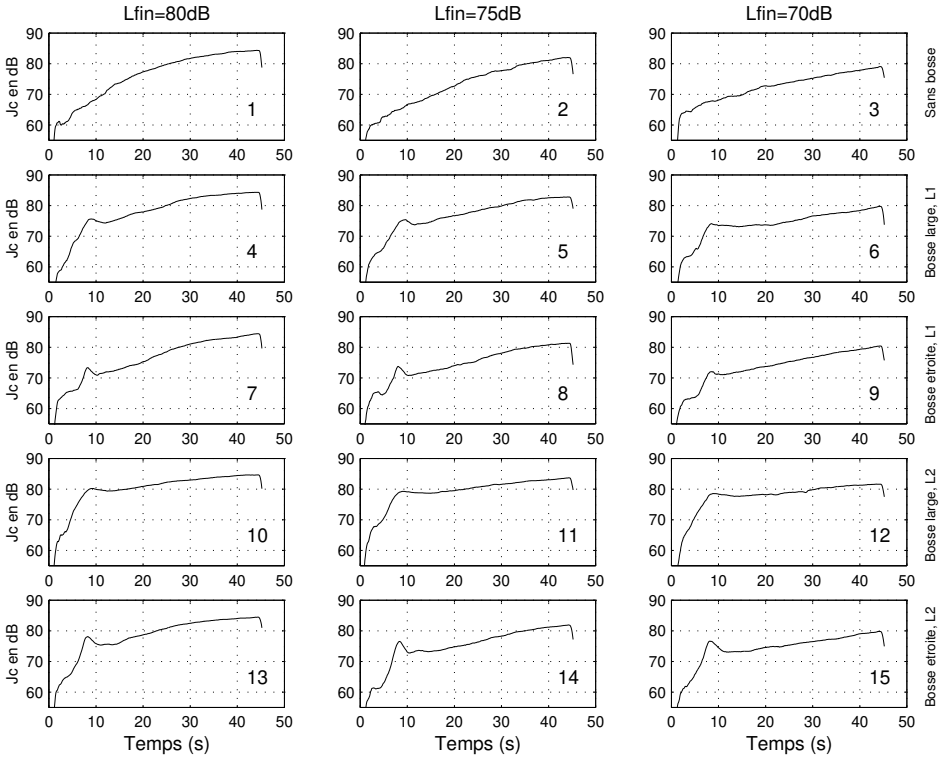

Figure 9.6 : Profils moyens des jugements continus exprimés en dB pour les sons 1 à 15.

Dans une deuxième partie, nous allons examiner l'effet combiné produit par la bosse de bourdonnement (largeur de bande étroite/large) et le niveau acoustique en début d'une phase de décélération. Dans ce but, les stimuli (30 - 38) utilisés correspondent à des inversions temporelles de certains sons testés précédemment. Ainsi, nous pourrons comparer les résultats.

Les figures 9.7.a, b et c correspondent respectivement aux données obtenues pour les stimuli avec un niveau en début de décélération de 80 dB, de 75 dB et étant toujours de 70 dB. Les symboles en forme d'étoile représentent les valeurs obtenues pour les stimuli (30, 31, 32) sans bosse de bourdonnement, et ceux en forme de carré, les stimuli avec une bosse de bourdonnement (étroite/large).

On a vu que dans une phase d'accélération plus la pente de variation en amplitude est élevée, plus l'interférence de la fin du signal et le contour antérieur est importante ce, qui minimise de manière importante l'influence de la bosse de bourdonnement sur le jugement global. Or, les inversions 33 à 38 (tableau 9.5) présentent des bosses de bourdonnement en fin de décélération dont l'effet produit est d'augmenter en moyenne l'estimation du niveau global quelque soit la pente de variation du niveau. De plus, il apparaît clairement un écart entre les jugements en fonction de la fréquence de la large

et ce plus principalement lorsque l'écart de niveau entre le début et la fin de la phase de décélération diminue (figures 9.7.b et c). Du fait de la résonance (la valeur du niveau en début de décélération est 70 dB, et globalement évalué plus fort que le son 31 qui ne présente aucune résonance et dont le niveau en début de décélération est 75 dB. La comparaison est similaire entre les sons 34 et 30. Donc, en résultats obtenus pour les phases d'accélération, la discrimination entre les valeurs du jugement global se fait en moyenne aussi bien en fonction du niveau en début de décélération qu'en fonction de la prépondérance de la bosse de bourdonnement. Seule la largeur fréquentielle du résonateur a été considérée, aussi, on peut imaginer facilement que la variation du niveau du résonateur aurait une influence encore plus marquée sur les résultats.

La comparaison des résultats entre les phases d'accélération et de décélération permet de constater que :

- dans une situation d'accélération, le jugement global est un maximum unique des jugements continus situé en fin de signal (figure 9.9). Le jugement global peut être prédit à partir d'une fonction de puissance de cette valeur, dont l'exposant est 1,6. Cette fonction est identique à celle déduite des expériences réalisées sur les sons enregistrés (Chapitre 8)
- l'effet produit par la bosse de bourdonnement sur le jugement global est donc atténué voir absent, même si la bosse apparaît sur les profils des jugements continus, c'est-à-dire qu'elle provoque une augmentation instantanée du niveau perçu,
- dans une situation de décélération, le jugement global est moins dépendant du maximum des jugements continus,
- en moyenne la bosse de bourdonnement produit un léger effet sur le jugement global qui n'est cependant pas significatif (analye 9.4 à 9.6, annexe 2)
- la valeur moyenne des jugements semble prédire au mieux le jugement global d'une phase de décélération (voir figure 9.10). Le meilleur ajustement à une fonction de puissance avec un exposant de valeur 1,1.

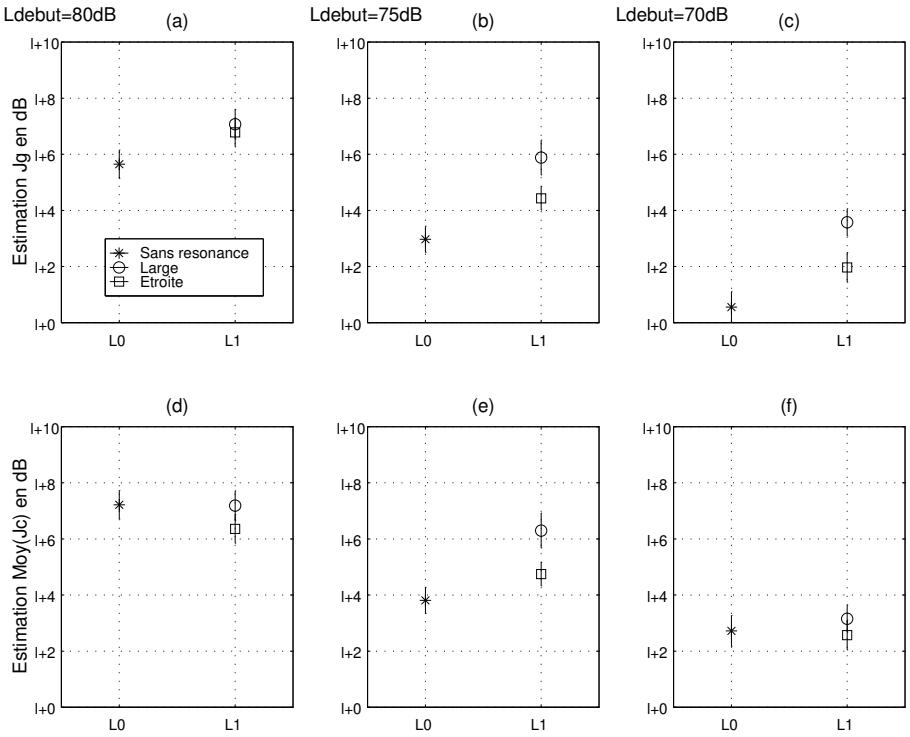

Figure 9.7˚: Jugement global (Jg) et valeur moyenne des jugements continus (Jc) en fonction de la largeur de la r sonance de bourdonnement (troite/large) combin es avec trois valeurs du niveau en d but de pr sentation. Les figures [a — d], [b — e] et [c — f] repr sentent les r sultats pour un niveau en d but de 80, 75 et 70˚dB avec un niveau en fin toujours de 70˚dB.

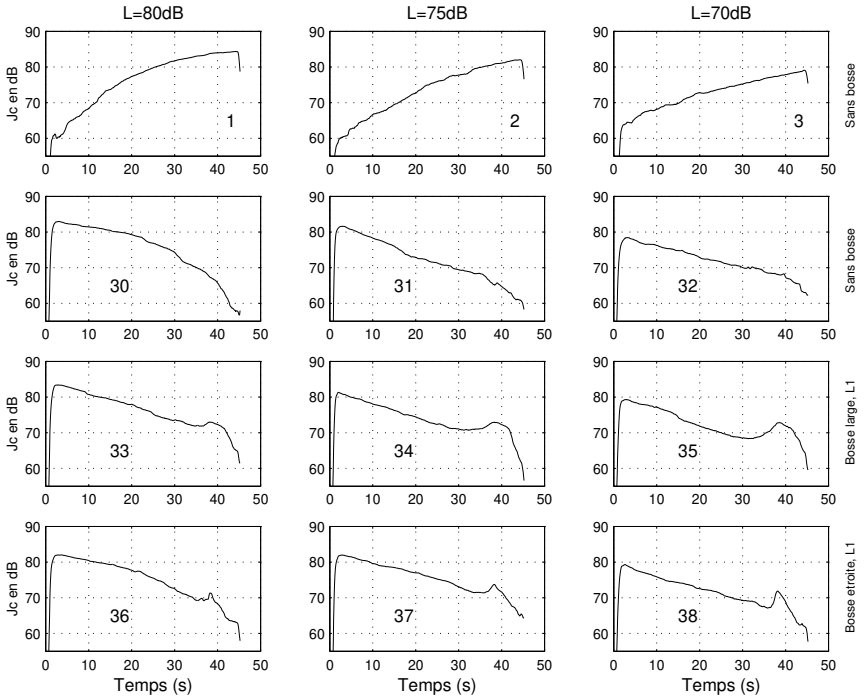

Figure 9.8˚: Profils moyens des jugements continus exprim s en dB pour les sons 30 38. En comparaison, les profils des sons 1, 2 et 3 correspondant une acc l ration lin aire sont repr sent s sur la m me figure.

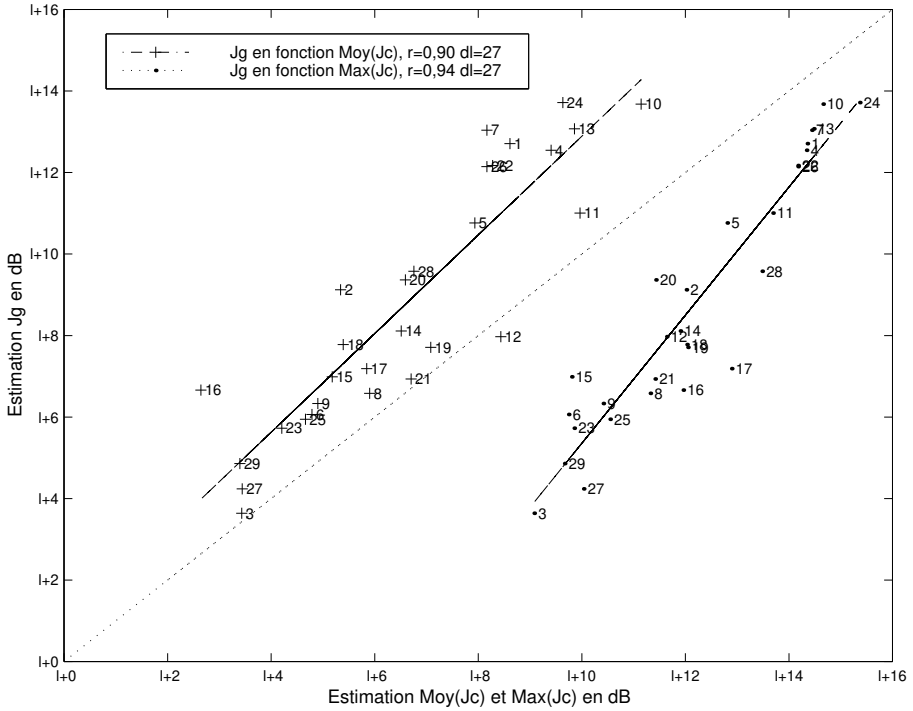

Figure 9.9˚: Valeurs maximales des jugements continus repr sent es en fonction des valeurs du jugement global pour des phases d'acc l ration.

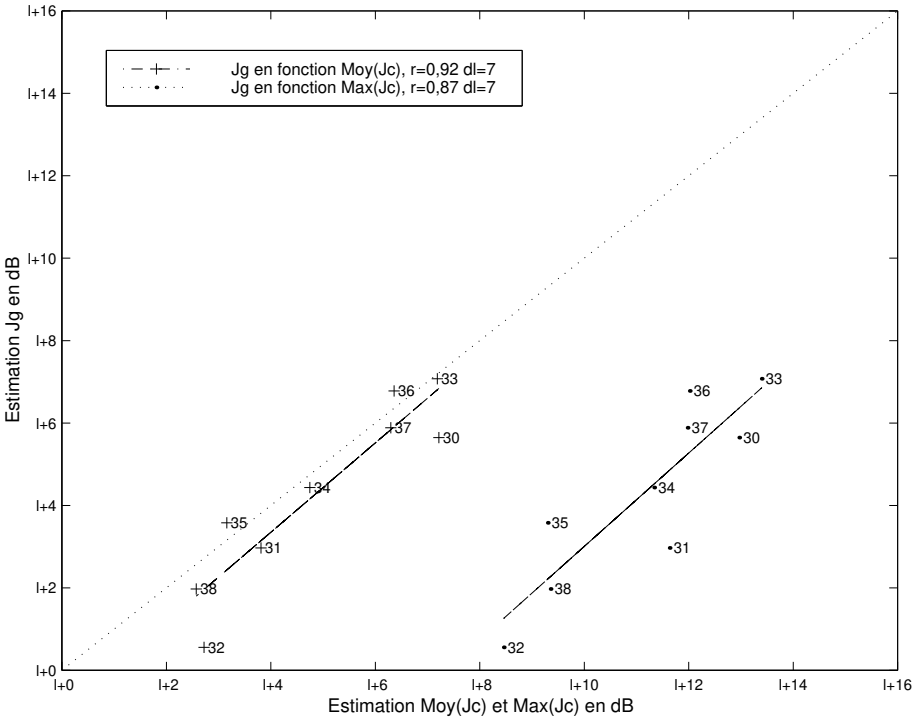

Figure 9.10˚: Valeurs moyennes des jugements continus repr sent es en fonction des valeurs du jugement global pour des phases de d c l ration.

9.6.3 Interactions entre le profil de variation en fréquence la bosse de bourdonnement pour une phase d'accélération

Il s'agit ici d'examiner à partir des jugements subjectifs l'influence combinée de trois types d'évolution fréquentielle de la bosse de bourdonnement. Le bourdonnement sera caractérisé par sa bande en fréquence (étroite/large) au niveau fixé (L_1). Les stimuli sont numérotés de 16 à 21 (configuration [AD]).

Les données obtenues sont directement comparables avec les données correspondant au son 2. La pente de variation du niveau est similaire (+5 dB), et la courbe de variation temporelle de la fréquence est soit ralentie (x^2), (sons 16, 17, 18), soit linéaire (x^1), (son 2), soit accélérée $x^{0,5}$ (sons 19, 20, 21).

Les jugements obtenus sont représentés sur la figure 9.11. Globalement, l'observation des résultats donne peu d'indications et montre quelques inversions entre les sons 16, 17 et 18 (configuration "ralentie"), la fréquence de la bosse apparente au début du signal, aussi l'effet dû à la résonance (f_c = 50 Hz) se produit plus tard dans le signal et dure plus longtemps. Sur la figure 9.12, la comparaison entre les profils des sons 17 et 18, d'une part, et entre les profils des sons 5 et 18 d'autre part, rend compte de cette description. Le bourdonnement étant plus proche de la fin du signal, il peut être envisagé qu'il soit mieux intégré dans le jugement final à l'impression globale. Les données montrent en effet que le jugement global est d'autant plus élevé que la bosse de bourdonnement est importante, mais cette différence est en moyenne très légère et non significative (analyse 9.7 à 9.9, annexe 2). On peut supposer que la différence aurait été plus grande si l'amplitude de la bosse de bourdonnement avait été considérée dans les configurations envisagées. Cependant, les résultats obtenus précédemment en considérant une variation linéaire en fréquence ont montré, quelle que soit l'amplitude de la bosse de bourdonnement, que l'effet produit était non significatif comparé au niveau en fin d'accélé

En ce qui concerne la configuration "accélérée", les résultats sont peu cohérents. En effet, dans ce cas, la variation fréquentielle est rapide au début puis progresse régulièrement. Ainsi, l'effet dû au bourdonnement est très court et donc très faible. Cependant, la zone fréquentielle provoquant une augmentation de la sensation de bourdonnement, pourrait s'attendre à ce que les sons 19, 20 et 21 soient jugés plus for n'est pas vérifié. D'autre part, étant donné la rapidité de la variation de la fréquence en début d'accélération, la présence de la bosse de bourdonnement passe presque inaperçue (figure 9.12) et la valeur moyenne est pratiquement identique et pour les t 21.

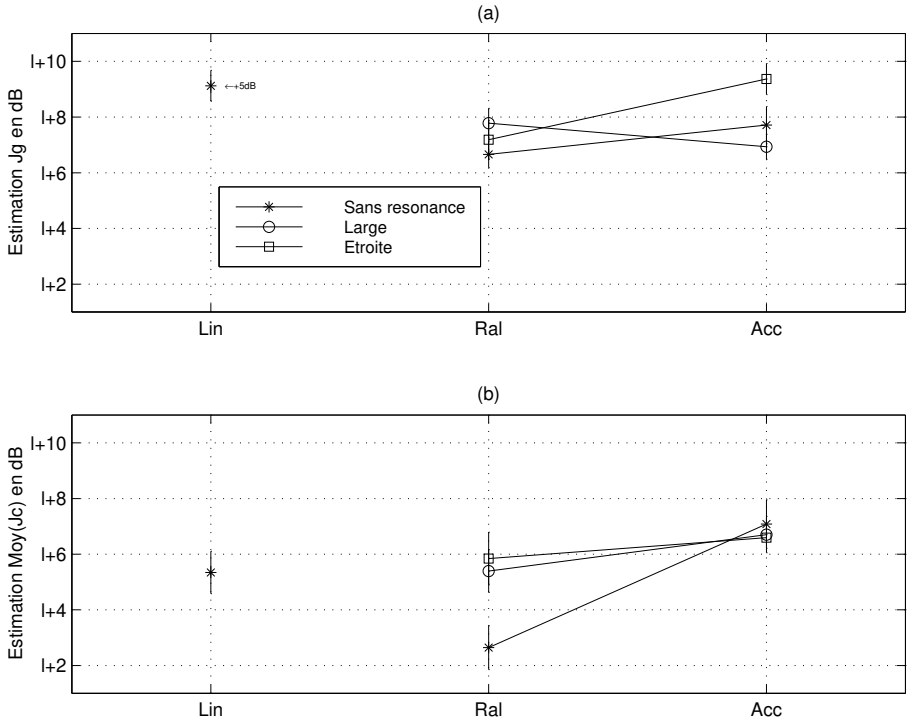

Figure 9.11˚: Jugement global (Jg) et valeur moyenne des jugements continus (Jc) obtenus en fonction de la courbe de variation temporelle en fr quence˚: ralentie, x^2 (sons 16, 17, 18), lin aire, x^1 (son 2), acc l r e $x^{0,5}$ (sons 19, 20, 21)˚; et de la largeur de la bosse de bourdonnement (troite/large).

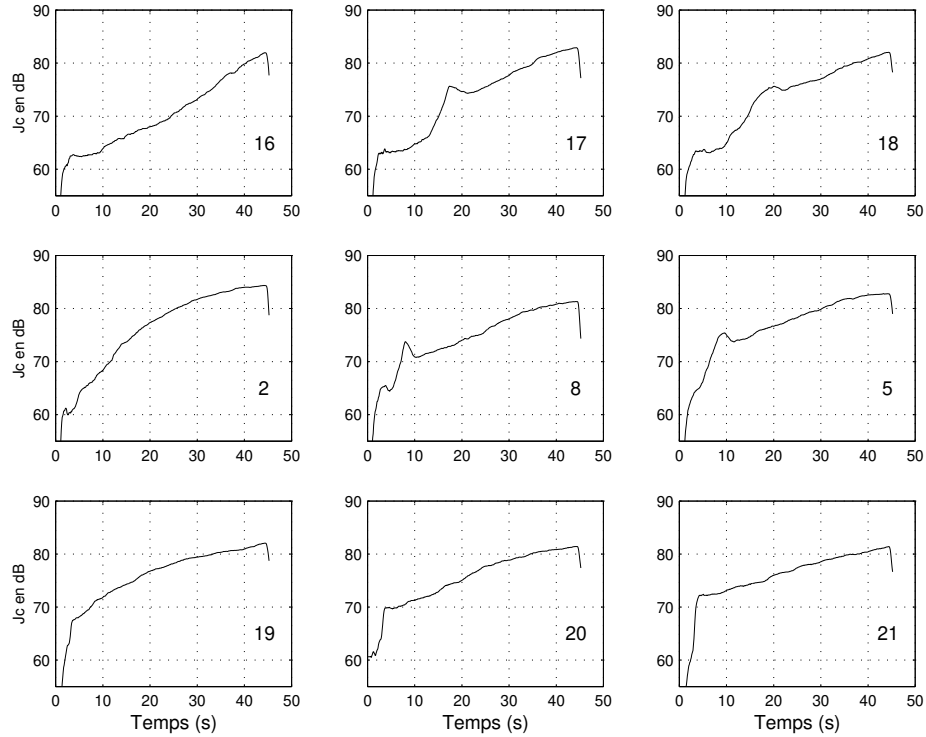

Figure 9.12°: Profils moyens des jugements continus exprim s en dB pour les sons 16 21. En comparaison, les profils correspondant une acc l ration lin aire pour les sons 2, 8 et 5 sont repr sent s sur la m me figure.

Les différents profils d'évolution considérés produisent très peu d'effet sur le jugement global comparé au niveau en fin d'accélération (analyse 9.7

- Pour une accélération longue puis rapide en fin de course, la bosse de bourdonnement est perçue mais ne produit aucune variation significative du jugeme
- Pour une accélération rapide en début de course puis progressive, la bosse de bourdonnement est quasiment absente dans les profils de jugements continus et ne produit aucun changement de la valeur du jugement global.

9.6.4 Interactions entre les modulations en amplitude et le d'une phase d'accélération

Jusqu'à présent nous avons examiné des profils d'évolution linéaires et ont montré que le jugement global dépend principalement du niveau en fin de présentation dans le cas d'une phase d'accélération. L'intérêt est d'observer si des modulations en amplitude appliquées à un profil linéaire sont perçues dans l'écoute continue et globalement. Dans ce but, nous avons sélectionné deux profils opposés en bosses et en creux. Ces situations sont étudiées en interaction avec le niveau de fin d'une phase d'accélération. Les stimuli réalisés sont numérotés de 22 à 29 (configuration [BC]).

Les résultats obtenus sont comparables à ceux correspondant aux sons 1 et 3. Ils sont représentés sur les figures 9.13 et 9.14. Les figures 9.13.ac et 9.13.bd correspondent respectivement à une variation d'amplitude de +10 et 0 dB. Les symboles carrés (ou cercles) correspondent aux configurations comportant des creux. De nouveau, il apparaît que le jugement global dépend principalement du niveau en fin d'accélération (analyse 9.10 à 9.12, annexe 2).

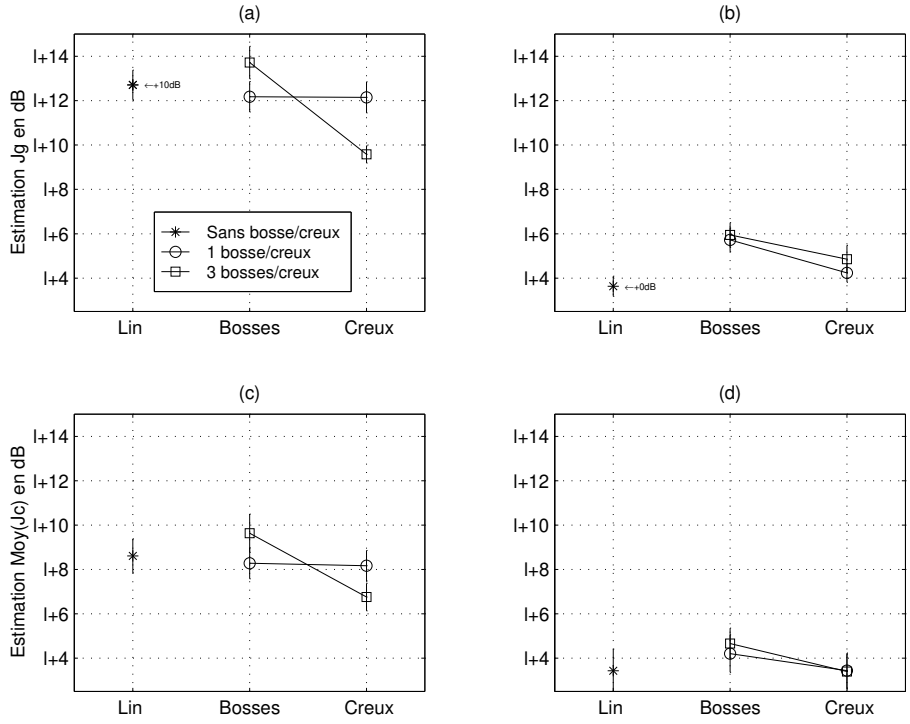

Figure 9.13˚: Jugement global (Jg) et valeur moyenne des jugements continus (Jc) obtenus pour des profils non lin aires pr sentant soit des bosses, soit des creux correspondant respectivement des att nuations sinuso dales de demi-p riodes soit n gatives, soit positives en dB autour du profil lin aire.

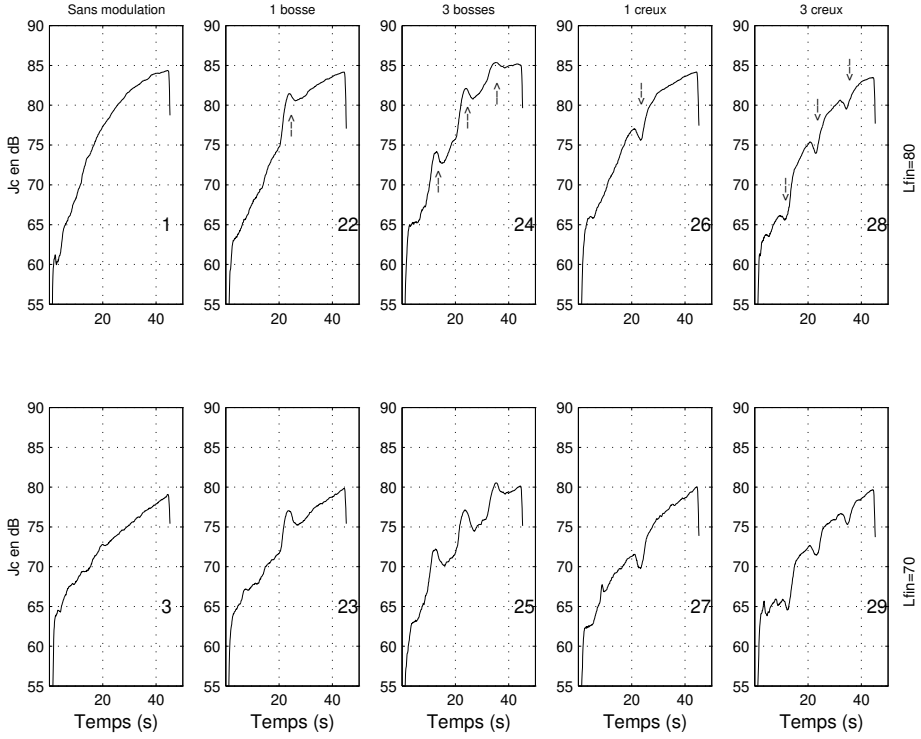

Figure 9.14˚: Profils moyens des jugements continus en dB pour les sons 22 29. En comparaison, les profils correspondant une acc l ration lin aire pour les sons 1 et 3 sont repr sent s sur la m me figure.

Lorsque le niveau acoustique varie de 70 à 80 dB (pente de 10 dB), le profil comprenant trois bosses (son 24) est légèrement plus fort que le profil linéaire. Inversement, le profil avec trois creux est jugé moins fort. Les profils présentant uniquement un creux ou une bosse n'ont pas de conséquence sur le jugement global et sur la valeur moyenne des jugements continus (figures 9.13.

Pour ce qui est de la pente de variation de 0 dB, c'est-à-dire lorsque le niveau de pression est conservé constant à la valeur de 70 dB (sons 3, 23, 25, 27, 29), les profils en creux sont jugés globalement et en moyenne similaires. En revanche, les profils en bosses sont légèrement plus forts. Par ailleurs, le nombre de creux ou de bosses ne modifie pas les résultats (figure 9.13.bd). Notons que les profils de jugements en continu présentés sur la figure 9.14 font apparaître des reliefs correspondant aux caractéristiques temporelles souhaitées (bosses/creux).

Des données obtenues, il est intéressant de retenir que le jugement global dépend sensiblement des variations du niveau acoustique en fonction du nombre de creux ou de bosses, et ce, d'autant plus lorsque le niveau atteint en fin d'accél

9.7 Conclusion

Globalement, une montée en régime est estimée de manière significative plus forte en intensité qu'une descente en régime lorsque l'on considère des profils linéaires identiques inversés en intensité. En revanche, elles sont jugées similaires en moyenne sur les jugements continus.

Une montée en régime (accélération) est évaluée principalement vers la fin en fonction de la présentation lorsque soit les facteurs d'évolution temporelle considérés. Ce résultat confirme celui obtenu au chapitre 8.

Pour chacune des trois valeurs considérées (70, 75 et 80 dB), il apparaît en moyenne de fines variations du jugement en fonction des diverses configurations quel que soit le niveau, la valeur du jugement global est la plus élevée pour les profils large-bande d'amplitude (100 dB), d'une part, et pour les profils linéaires comprenant des variations positives en amplitude (trois bosses), d'autre part. Mais ces différences ne sont pas significatives (voir ANOVA, annexe 2). Les tableaux 9.7 et 9.8 présentent les résultats pour les configurations [AC] et [BC] en fonction de l'ordre croissant des valeurs correspondant au jugement global. Il apparaît clairement que le premier facteur qui oriente le classement est le niveau en fin de présentation. Pour la configuration [AC] en phase d'accélération, deux autres facteurs correspondent à l'amplitude et à la largeur

bosse de bourdonnement. Pour la configuration [BC], le deuxième facteur correspond au nombre de bosses.

L'évaluation globale d'une phase de décélération dépend du niveau en début de présentation d'une manière moins contrasté, cependant la valeur significative. Elle évolue en une relation quasi linéaire en fonction de la valeur moyenne des jugements continus. La moyenne des jugements révèle une dépendance en fonction de la prépondérance de la bosse de bourdonnement. Dans le tableau 9.9, il apparaît que le fait qu'il y a un niveau en début de présentation et la résonance ne sont pas indépendants. On peut observer deux sauts dans les valeurs du jugement global correspondant aux configurations dans lesquelles la bosse de bourdonnement correspond à une résonance large-bar

Finalement, l'expérience menée avec les sons présentés dans ce chapitre a permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle dans une tâche de jugement global de l'intensité acoustique, on retrouve l'*effet de récence* dont la conséquence sur l'impression globale dépend de manière importante de la distribution temporelle du maximum perçu du stimulus testé.

N¡	Niv. en fin de pr sentation	Type de r sonance	Amplitude r sonance	Evaluation globale
3	70			l+3.63
4	70	large	90	l+6.06
9	70	troite	90	l+6.33
8	75	troite	90	l+6.58
15	70	troite	100	l+7.00
12	70	large	100	l+8.00
14	75	troite	100	l+8.11
2	75			l+9.12
5	75	large	90	l+10.76
11	75	large	100	l+11.00
4	80	large	90	l+12.54
1	80			l+12.70
7	80	troite	90	l+13.04
13	80	troite	100	l+13.04
10	80	large	100	l+13.70

Tableau 9.7°: Classement des sons de la configuration [AC] pour une phase d'acc l ration en fonction de l'ordre croissant des valeurs obtenues pour le jugement global. La valeur du niveau de r f rence *l* permet d obtenir les niveaux absolus estim s (voir Note page 176).

N_i	Niv. en fin de pr sentation	Bosses/Creux	Evaluation globale
27	70	1 creux	l+4.23
29	70	3 creux	l+4.85
23	70	1 bosse	l+5.72
25	70	3 bosses	l+6.00
28	80	3 creux	l+9.57
26	80	1 creux	l+12.14
22	80	1 bosse	l+12.17
24	80	3 bosses	l+13.71

Tableau 9.8° : Classement des sons de la configuration [BC] pour une phase de d c l ration en fonction de l'ordre croissant des valeurs obtenues pour le jugement global.

N_i	Niv. en fin de pr sentation	Type de r sonance	Evaluation globale
32	70		l+0.55
38	70	troite	l+2.00
31	75		l+3.00
35	70	large	l+3.57
37	75	troite	l+4.43
30	80		l+5.63
34	75	large	l+5.88
36	80	troite	l+6.77

Tableau 9.9° : Classement des sons de la configuration [AC] pour une phase de d c l ration en fonction de l'ordre croissant des valeurs obtenues pour le jugement global.

Conclusion

Les différentes expériences réalisées dans ce travail de recherche ont permis d'étudier la sonie de sons non stationnaires. Nous nous sommes principalement intéressés aux sons dont les contours instantanés fluctuent sur une durée dépassant les limites temporelles du stockage de la mémoire sensorielle et de la mémoire à court terme, c'est-à-dire quelques secondes (environ 10 s). Les sons test ont été sélectionnés parmi des signaux dont les caractéristiques temporelles de variations sont bien définies par synthèse (Chapitre 6, Chapitre 9) et d'autres parmi des séquences sonores enregistrées (Chapitre 7, Chapitre 8).

La démarche globale a consisté à interpréter les stratégies de jugement en fonction

- de l'information issue de l'enregistrement continu associés aux variations en intensité, et
- du jugement correspondant à l'impression globale.

Un aspect essentiel de la thèse a donc été de concevoir un environnement expérimental d'évaluation en temps réel permettant d'enregistrer les jugements recherchés. De plus, l'objectif du travail étant l'étude des phases d'accélération de véhicules, l'environnement mis en place a permis de générer des signaux dont les caractéristiques temporelles contrôlées par synthèse correspondent à des schémas simplifiés des caractéristiques des signaux d'origine.

La procédure expérimentale adoptée est une procédure psychophysique utilisant une méthode par appariement intermodale (AIM). Elle consiste à associer une force d'intensité perçue équivalente à la sonie des sons test. La tâche est effectuée à l'aide d'un dispositif proprioceptif développé à cet usage. Ce dispositif répond aux différentes contraintes induites par une tâche de jugement en continu.

- Il peut être calibré en fonction des échelles de sensation proprioceptive et auditive individuelles. Ainsi, il est possible d'éviter les effets de compression et de saturation des

jugements relatifs à la gamme des stimuli testés. La phase d'étalonnage produit une échelle individuelle d'équivalence entre l'échelle proprioceptive et l'échelle de sonie, ce qui permet de traduire les jugements en valeurs exprimées sont dB. Ai comparables sur l'ensemble des sujets.

- Il permet de produire des réponses de type analogique par opposition aux méthodes d'évaluation par catégories ou par descripteurs sémantiques.
- Il fournit au sujet une information en continu sur son niveau d'évaluation par l'intermédiaire de la force exercée.
- Son mode de manipulation est intuitif et rapidement appris.

La fonction proprioceptive associée au dispositif été évaluée par les méthodes de production de rapports et d'estimation de grandeurs dans les deux sens de manipulation possible (modes ascendant/descendant). En moyenne, la fonction psychophysique correspondante est une fonction de puissance dont la valeur de l'exposant est 1,8. Ce résultat est similaire à celui obtenu par Stevens (1959) avec son dis

La connaissance de cette fonction a permis de déduire directement, par une procédure d'appariement inter-modal, la fonction de la sonie pour des sons purs stationnaires de 1000 Hz. La fonction obtenue est une fonction de puissance dont l'exp valeur est similaire à celle de la littérature (0,54 - voir Chapitre

La procédure ainsi définie a été comparée avec d'autres méthodes plus classiques d'estimation directe (Chapitre 5). Les fonctions de la sonie obtenues par ces méthodes, même si elles sont globalement similaires, dépendent de manière importante de la procédure expérimentale. La comparaison des données a donné des choix de la méthode par appariement inter-modal pour étudier les sons non station

Dans un deuxième temps (Chapitre 6), la méthode a été appliquée à des sons purs non stationnaires de fréquence 1000 Hz. Les contours en intensité sont contrôlés par synthèse selon des profils prédéfinis. Ainsi, il a été possible de constater l'existence d'un effet mnémonique de récence dans le processus d'un jugement global de la sonie en accord avec notre hypothèse de départ. Les résultats montrent que l'i effet dépend de la distribution temporelle en énergie acoustique (stimulus de type 3PICS). Il apparaît donc important de tenir compte de cet effet spécifique de la mémoire auditive, dans l'interprétation des jugements de la sonie de séquences sonores d quelques dizaines de secondes.

D'autre part, pour une variation linéaire 60 à 80 dB SPL (stimulus de type RAMPE), les résultats mettent en évidence un effet de jugements

de la sonie est augmente avec la durée de la rampe. D'autres résultats (stimuli du type IPIC) montrent une asymétrie dans le processus de jugement en continu entre une rampe ascendante et une rampe descendante d'intensité acoustique. Les courbes montrent que la sonie de la rampe descendante change plus rapidement. Cet effet augmente de nouveau avec la durée de la rampe. Dans une expérience réalisée par Canévet et Scharf (1990), les données obtenues à partir de jugements en sonie de rampes croissantes et décroissantes en continu montrent un effet similaire, particulièrement pour les faibles niveaux.

La méthode par appariement inter-modal a été comparée à la méthode analogique/catégorie (A/C) proposée par Weber (1991). Les résultats présentés sont sensiblement équivalents et l'effet de récence mnémonique observé existe de manière significative quelle que soit la méthode A/C utilisée (Annexe 1). Les principaux avantages de la méthode AIM par rapport à la méthode A/C résident dans l'obtention de jugements exprimés en dB directement interprétables et comparables dans l'absolu et dans la résolution de l'échelle de jugements, surtout pour le jugement global. La méthode A/C fournit des profils de jugements très proches des contours physiques, avec peu de variations interindividuelles. Sur ce point, la supériorité de cette méthode sur la méthode AIM. En outre, même si aucun effet de fatigue n'a été révélé quant à la manipulation du dispositif proprioceptif pour des sons de quelques minutes, il semble que l'utilisation du dispositif A/C soit plus appropriée pour des changements rapides et pour évaluer des séquences d'une durée plus importante comme, par exemple, des séquences sonores urbaines de quelques dizaines de minutes. En revanche, l'inconvénient de la méthode A/C provient de ce que l'on ne peut pas tester l'équivalence d'un individu à l'autre, entre l'échelle sémantique et l'échelle de sonie.

Dans la dernière partie de la thèse, nous avons étudié la sonie de sons non stationnaires complexes : ambiances sonores urbaines et sons de véhicules correspondant à des variations du régime moteur. Nous présentons ici une synthèse des résultats sur les sons de véhicules.

Les profils de jugements en continu révèlent deux grandes tendances sous-jacentes à ces deux processus perceptifs : les phases d'accélération (Chapitre 8). Certains sujets traduisent les contours en intensité des sons testés conformément à la tâche demandée. Les autres produisent des jugements correspondant au contour fréquentiel associé à l'augmentation de la vitesse du moteur. Au vu de cette différence, il apparaît que l'étude additive des phases d'accélération nécessite d'établir des groupes d'auditeurs ou encore de les

entraîner des contours spécifiques de variation en intensité, en fonction des objectifs expérimentaux fixés.

Globalement, l'estimation de la sonie d'une phase d'accélération dépend de manière significative de la valeur maximale du profil des jugements de niveau en fin du signal testé. Cette valeur maximale est mémorisée dans la zone temporelle d'intégration mnémonique à court terme correspondant aux derniers instants perçus du contour en intensité. Il apparaît ici deux effets de l'importance globale : un effet lié au maximum perçu et un effet de récence.

La relation déduite des données obtenues a permis d'exprimer le jugement global par une fonction de puissance de la valeur maximale dont l'exposant pour valeur 1,6. Les expériences réalisées à partir des sons de synthèse (Chapitre 9) représentant des phases d'accélération ont révélé une relation semblable (1,6). L'impression globale de la sonie évolue donc selon une fonction accélérée du maximum perçu.

Afin d'examiner de manière plus générale si le jugement global dépend uniquement de la valeur maximale perçue dans une phase d'accélération, différentes configurations d'évolution temporelle ont été envisagées et contrôlées par synthèse de manière à ce qu'il résulta claire que la valeur du jugement global varie en moyenne sensiblement en fonction de la configuration du contour en intensité appliquée à une phase d'accélération et dépend toujours de manière significative du maximum perçu. Ainsi, l'effet produit par la bosse de bourdonnement (résonance à 50 Hz) sur le jugement global d'une phase d'accélération apparaît très faible comparé à l'effet produit par le niveau en fin d'accélération. Dans certaines configurations, la présence de bourdonnement ne modifie quasiment pas la valeur du jugement global, bien que les profils des jugements continus en retranscrivent les contours.

En revanche, l'effet produit par la bosse de bourdonnement est en moyenne non négligeable dans une phase de décélération et ce d'autant plus lorsque la variation du niveau est faible. Cependant, cet effet est peu significatif. D'autre part, à intensité similaire, une phase d'accélération est jugée avec une sonie plus élevée qu'une phase de décélération. Comparée à l'accélération, l'estimation de la sonie d'une phase de décélération dépend moins du maximum perçu. L'estimation de la sonie dans ce cas correspond davantage à une fonction de puissance de la valeur moyenne des jugements continus dont la valeur de l'exposant est 1,1.

Par conséquent, les processus d'intégration de sonie sont différents selon qu'il s'agit d'une phase d'accélération ou d'une phase de décélération.

En conclusion, l'étude de la sonie des sons non stationnaires a révélé des tendances différentes selon le type de profil temporel examiné. Dans l'ensemble, l'estimation globale de la sonie de sons présentant des fluctuations lentes sur une seconde dépend de manière significative :

- des émergences dominantes en intensité, tel que souligné par les travaux de Kuwano (1985) et par Fastl (1991), et
- d'un effet de récence correspondant à un traitement à court terme des contours en intensité.

D'un autre côté, nos travaux réalisés ont permis de mieux comprendre les divers processus mis en jeu dans l'évaluation temporelle de la sonie grâce à la prise en
- du degré de fluctuation des contours perçus,
- de la distribution temporelle en énergie,
- de la durée d'émergence d'une source et
- de l'effet de dérive temporelle.

Pour prolonger cette recherche, il serait intéressant d'élaborer un modèle de prédiction de la sonie de sons non stationnaires en tenant compte de ces différents ef

L'étude de la sonie des sons non stationnaires a nécessité la mise au point d'un environnement expérimental. L'intérêt du dispositif utilisé avec la méthode par appariement a été examiné en fonction de ses limites et de ses avantages. Cependant, il serait nécessaire, afin de procéder à une analyse poussée de la méthodologie proposée, de développer davantage de tests utilisant des stimuli simples.

Par ailleurs, la connaissance de la fonction propre à chaque dispositif associée au déduire rapidement la fonction de la sonie de sons stationnaires en utilisant la méthode par appariement. Une perspective intéressante serait de valider la procédure pour d'autres attributs auditifs comme la brillance ou la rugosité.

Notons que les caractéristiques du dispositif prioceptif développé à l'occasion de cette étude permettent d'envisager son exploitation dans des expériences psychoacoustiques impliquant des sujets non voyants.

Finalement, un point important de cet travail est d'avoir révélé un effet de récence dans une tâche de jugement global de la sonie. Il serait souhaitable de valider ce résultat par d'autres procédures en utilisant d'autres stimuli contrôlés par synthèse. Une possibilité qui permettrait d'examiner le contenu de la mémoire à ce type de tâche,

consisterà différer sur une durée variable le jugement global après la présentation du stimulus test. Ainsi, la comparaison des données permettra d'observer si l'effet constaté lié à un processus de stockage à court terme existe après une durée de

Les données obtenues ainsi que celles issues de la littérature semblent indiquer que nous oublions très vite ce que nous venons juste d'entendre. Heureusement, notre mémoire "sonore" repose sur des processus d'organisation et de représentation symbolique liés à notre apprentissage et à notre expérience qui s'avèrent bien plus robustes sur le long terme.

"D'où je suis assis, en ce premier août 1979, je colle mon oreille au mur d'une maison qui n'est plus. Je parviens à entendre le chant des merles mauvis et le souffle puissant du vent dans les roseaux. Ils bruissent dans le vent comme des épées de spectres à la bataille. Derrière, le murmure aussi, le clapement régulier de l'étang sur la berge, j'en fais partie, par l'imagination."

Richard Brautigan ("Mémoires sauvés du vent"

Annexe 1 : Analyses de variance du chap

Variables utilisées dans l'analyse

TypeA = {Moyenne de Jc, Jg1}
TypeB = {Maximum de Jc, Jg1}
TypeC = {Jg1, Jg2}
TypeD = {Jg1, Jg3}
TypeE = {Jg2, Jg3}
Dur e = {2s, 5s, 10s, 20s}
Configuration = {MHB, HMB, BMH, MBH, HBM, BHM}

Chaque analyse pr sente l'indice F avec ses degr s de libert et la probabilit . Des probabilit s plus petites que .05 sont consid r es comme statistiquement significatives (NS = non significatif). Si n cessaire ces probabilit s sont corrig es par le facteur epsilon de Geisser-Greenhouse qui prend en compte des corr lations internes entre modalit s r p t es. Les analyses sont effectu es sur les donn es de 18 sujets pour la m thode AIM (17 pour le jugement global en condition 2 et 11 pour celui en condition 3) et de 19 sujets pour la m thode A/C (18 pour le jugement global en condition 2). La condition 3 n'a pas t test avec la m thode A/C.

Stimuli RAMPE

Analyse 6.1°:Comparaison entre Moyenne des jugements continus et Jugements globaux (condition 1) en interaction avec la dur e (analyse mesures r p t es).
Plan : S(18) * TypeA(2) * Dur e(4)
M thode AIM
TypeA - F(1,17) = 26.3, p<.0001
Dur e - F(3,51) = 17.8, p<.0001
TypeA*Dur e - F(3,51) = 3.2, p=.0525
M thode AC
TypeA - F(1,18) = 19.9, p<.0005
Dur e - F(3,54) = 26.2, p<.0001
TypeA*Dur e - F(3,54) = 2.1, NS

Analyse 6.2°: Comparaison entre Maximum des jugements continus et Jugements globaux (condition 1) en interaction avec la dur e (analyse mesures r p t es).
Plan : S(18) * TypeB(2) * Dur e(4)
M thode AIM
TypeB - F(1,17) = 21.7, p<.0005
Dur e - F(3,51) = 9.6, p<.0001
TypeB*Dur e - F(3,51<1, NS
M thode AC
TypeB - F(1,18) = 44.4, p<.0001
Dur e - F(3,54) = 15.9, p<.0001
TypeB*Dur e - F(3,54) = 1.1, NS

Analyse 6.3 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 1) et Jugements globaux (condition 2) en interaction avec la dur e (analyse mesures r p t es).
Plan : S(17) * TypeC(2) * Dur e(4)
M thode AIM
TypeC - F(1,16) = 4.9, p<.05
Dur e - F(3,48) = 18.3, p<.0001
TypeC*Dur e - F(3,51)<1, NS
M thode AC
TypeC - F(1,17) = 3.2, NS
Dur e - F(3,51) = 13.4, p<.0001
TypeC*Dur e - F(3,51) = 1.6, NS

Analyse 6.4 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 1) et Jugements globaux (condition 3) en interaction avec la dur e (analyse mixte : mesures r p t es sur Dur e et groupes ind pendants sur TypeD).
Plan : TypeD(2)<Condition1(19),Condition3(11)> * Dur e(4)
M thode AIM
TypeD - F(1,27) = 14.9, p<.001
Dur e - F(3,81) = 6.0, p<.005
TypeD*Dur e - F(3,81)<1, NS

Analyse 6.5 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 2) et Jugements globaux (condition 3) en interaction avec la dur e (analyse mixte : mesures r p t es sur Dur e et groupes ind pendants sur TypeE).
Plan : TypeE(2)<Condition2(19),Condition3(11)> * Dur e(4)
M thode AIM
TypeE - F(1,26) = 6.0, p<.05
Dur e - F(3,78) = 5.6, p<.005
TypeE*Dur e - F(3,78)<1, NS

Stimuli 1PIC

Analyse 6.6 : Comparaison entre Moyenne des jugements continus et Jugements globaux (condition 1) en interaction avec la dur e (analyse mesures r p t es).
Plan : S(18) * TypeA(2) * Dur e(4)
M thode AIM
TypeA - F(1,17) = 16.2, p<.001
Dur e - F(3,51) = 25.8, p<.0001
TypeA*Dur e - F(3,51) = 1.6, NS
M thode AC
TypeA - F(1,18) = 2.2, NS
Dur e - F(3,54) = 19.0, p<.0001
TypeA*Dur e - F(3,54)<1, NS

Analyse 6.7 : Comparaison entre Maximum des jugements continus et Jugements globaux (condition 1) en interaction avec la dur e (analyse mesures r p t es).
Plan : S(18) * TypeB(2) * Dur e(4)
M thode AIM
TypeB - F(1,17) = 23.6, p<.0001
Dur e - F(3,51) = 7.1, p<.005
TypeB*Dur e - F(3,51) = 2.2, NS
M thode AC
TypeB - F(1,18) = 59.3, p<.0001
Dur e - F(3,54) = 17.6, p<.0001
TypeB*Dur e - F(3,54)<1, NS

Analyse 6.8 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 1) et Jugements globaux (condition 2) en interaction avec la dur e (analyse mesures r p t es).
Plan : S(17) * TypeC(2) * Dur e(4)
M thode AIM

TypeC - F(1,16) = 23.3, p<.0005
Dur e - F(3,48) = 4.3, p<.05
TypeC*Dur e - F(3,51) = 2.0, NS
M thode AC
TypeC - F(1,17) = 6.2, p<.05
Dur e - F(3,51) = 10.6, p<.0005
TypeC*Dur e - F(3,51)<1, NS

Analyse 6.9 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 1) et Jugements globaux (condition 3) en interaction avec la dur e (analyse mixte : mesures r p t es sur Dur e et groupes ind pendants sur TypeD).
Plan : TypeD(2)<Condition1(19),Condition3(11)> * Dur e(4)
M thode AIM
TypeD - F(1,27) = 14.8, p<.001
Dur e - F(3,81) = 11.9, p<.0001
TypeD*Dur e - F(3,81) = 2.2, NS

Analyse 6.10 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 2) et Jugements globaux (condition 3) en interaction avec la dur e (analyse mixte : mesures r p t es sur Dur e et groupes ind pendants sur TypeE).
Plan : TypeE(2)<Condition2(19),Condition3(11)> * Dur e(4)
M thode AIM
TypeE - F(1,26) = 6.7, p<.05
Dur e - F(3,78) = 10.5, p<.0001
TypeE*Dur e - F(3,78) = 1.8, NS

Stimuli 3PICS

Analyse 6.11 : Comparaison entre Moyenne des jugements continus et Jugements globaux (condition 1) en interaction avec la configuration (analyse mesures r p t es).
Plan : S(18) * TypeA(2) * Configuration(4)
M thode AIM
TypeA - F(1,17) = 30.5, p<.0001
Configuration - F(5,85) = 3.9, p<.05
TypeA*Configuration - F(5,85) = 4.6, p<.05
M thode AC
TypeA - F(1,18) = 53.0, p<.0001
Configuration - F(5,90) = 7.8, p<.0001
TypeA*Configuration - F(5,90) = 7.0, p<.001

Analyse 6.12 : Comparaison entre Maximum des jugements continus et Jugements globaux (condition 1) en interaction avec la configuration (analyse mesures r p t es).
Plan : S(17) * TypeB(2) * Configuration(4)
M thode AIM
TypeB - F(1,17) = 27.0, p<.0001
Configuration - F(5,85) = 4.4, p<.05
TypeB*Configuration - F(5,85) = 1.8, NS
M thode AC
TypeB - F(1,18) = 186.0, p<.0001
Configuration - F(5,90) = 6.8, p<.0005
TypeB*Configuration - F(5,90) = 7.1, p<.0005

Analyse 6.13 : Contrastes planifi s sur l'effet Configuration (analyse mesures r p t es sur les Jugements globaux de la condition 1).
Plan : Configuration(6)
M thode AIM
Configuration - F(5,85) = 4.3, p<.05
Effets de la position de H
Contraste 1 : (HMB, HBM) vs (MHB,BHM) - F(1,85) = 1.9, NS
Contraste 2 : (MHB,BHM) vs (MBH,BMH) - F(1,85) = 7.7, p<.05

Contraste 3 : (HMB, HBM) vs (MBH,BMH) - F(1,85) = 17.4, p<.005
Effets de la position relative de M et B pour une position donn e de H
Contraste 4 : HMB vs HBM - F(1,85)<1, NS
Contraste 5 : MHB vs BHM - F(1,85)<1, NS
Contraste 6 : MBH vs BMH - F(1,85) = 3.2, NS
M thode A/C
Configuration - F(5,90) = 6.5, p<.001
Effets de la position de H
Contraste 1 : (HMB, HBM) vs (MHB,BHM) - F(1,90) = 4.9, p<.05
Contraste 2 : (MHB,BHM) vs (MBH,BMH) - F(1,90) = 10.7, p<.01
Contraste 3 : (HMB, HBM) vs (MBH,BMH) - F(1,90) = 30.0, p<.0001
Effets de la position relative de M et B pour une position donn e de H
Contraste 4 : HMB vs HBM - F(1,90) = 1.8, NS
Contraste 5 : MHB vs BHM - F(1,90)<1, NS
Contraste 6 : MBH vs BMH - F(1,90)<1, NS

Analyse 6.14 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 1) et Jugements globaux (condition 2) en interaction avec la configuration (analyse mesures r p t es).
Plan : S(17) * TypeC(2) * Configuration(4)
M thode AIM
TypeC - F(1,16) = 2.2, NS
Configuration - F(5,80) = 4.6, p<.05
TypeC*Configuration - F(5,80) = 1.1, NS
M thode AC
TypeC - F(1,17) = 4.1, p=.059
Configuration - F(5,85) = 5.6, p<.001
TypeC*Configuration - F(5,85) = 1.9, NS

Analyse 6.15 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 1) et Jugements globaux (condition 3) en interaction avec la configuration (analyse mixte : mesures r p t es sur Configuration et groupes ind pendants sur TypeD).
Plan : TypeD(2)<Condition1(19),Condition3(11)> * Configuration(4)
M thode AIM
TypeD - F(1,27) = 16.7, p<.0005
Configuration - F(5,135) = 3.9, p<.01
TypeD*Configuration - F(5,135)<1, NS

Analyse 6.16 : Comparaison entre Jugements globaux (condition 2) et Jugements globaux (condition 3) en interaction avec la configuration (analyse mixte : mesures r p t es sur Configuration et groupes ind pendants sur TypeE).
Plan : TypeE(2)<Condition2(19),Condition3(11)> * Configuration(4)
M thode AIM
TypeE - F(1,26)<1, NS
Configuration - F(5,130) = 3.3, p<.05
TypeE*Configuration - F(5,150)<1, NS

Annexe 2 : Analyses de variance du chap

Variables utilisées dans l'analyse

NivA = {90, 100} - niveau de la bosse de bourdonnement
NivB = {0, 90, 100} - niveau de la bosse de bourdonnement
NivC = {0, 90} - niveau de la bosse de bourdonnement
Larg = {large, troite} - largeur de la bosse de bourdonnement
LfinA = {80, 75, 70} - niveau en fin d'acc l ration ou d but de d c l ration
LfinB = {80, 70} - niveau en fin d'acc l ration ou d but de d c l ration
Direc = {Acc l ration, D c l ration} - direction des stimuli
Profil = {Lin aire, Ralenti, Acc l r } - profil de la F0 pour la fonction d'acc l ration
Mod1 = {Lin aire, 1 bosse, 1 creux} - pr sence de modulations dans l'enveloppe d'amplitude
Mod3 = {Lin aire, 3 bosses, 3 creux} - pr sence de modulations dans l'enveloppe d'amplitude
Mod = {Bosse, Creux} - type de modulation dans l'enveloppe d'amplitude
Nbr = {1, 3} - nombre de modulations dans l'enveloppe d'amplitude

Chaque analyse pr sente l'indice F avec ses degr s de libert et la probabilit . Des probabilit s plus petites que .05 sont consid r es comme statistiquement significatives (NS = non significatif). Si n cessaire ces probabilit s sont corrig es par le facteur epsilon de Geisser-Greenhouse qui prend en compte des corr lations internes entre modalit s r p t es. Les analyses sont effectu es sur les donn es de 20 sujets.

Catégorie AC

Analyse 9.1 : Comparaisons entre les effets du niveau de bourdonnement, de la largeur de bourdonnement, du niveau de fin d'acc l ration et leurs interactions (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * NivA(2) * Larg(2) * LfinA(3)
NivA - F(1,19) = 1.0, NS
Larg - F(1,19) = 2.5, NS
LfinA - F(2,38) = 18.7, p<.0005
NivA * Larg - F(1,19)<1, NS
NivA * LfinA - F(2,38)<1, NS
Larg * LfinA - F(2,38) = 2.0, NS
NivA * Larg * LfinA - F(2,38)<1, NS

Analyse 9.2 : Comparaisons entre les effets du niveau de bourdonnement et du niveau de fin d'acc l ration et leurs interactions pour une grande largeur de r sonance (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * NivB(3) * LfinA(3)
NivB - F(2,38) = 2.7, NS
LfinA - F(2,38) = 15.2, p<.0005
NivB * LfinA - F(4,76)<1, NS

Analyse 9.3 : Comparaisons entre les effets du niveau de bourdonnement et du niveau de fin d'acc l ration et leurs interactions pour une petite largeur de r sonance (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * NivB(3) * LfinA(3)
NivB - F(2,38)<1, NS
LfinA - F(2,38) = 11.5, p<.005

NivB * LfinA - F(4,76) = 1.3, NS

Analyse 9.4 : Comparaisons entre les effets de la largeur de bourdonnement, du niveau de fin d'acc l ration ou d but de d c l ration, la direction de changement et leurs interactions (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Direc(2) * Larg(2) * LfinA(3)
Direc - F(1,19) = 6.8, p<.05
Larg - F(1,19) = 1.9, NS
LfinA - F(2,38) = 15.6, p<.0005
Direc * Larg - F(1,19)<1, NS
Direc * LfinA - F(2,38) = 8.3, p<.005
Larg * LfinA - F(2,38) = 1.5, NS
Direc * Larg * LfinA - F(2,38) = 1.8, NS

Analyse 9.5 : Comparaisons entre les effets du niveau de bourdonnement, du niveau de fin d'acc l ration ou d but de d c l ration, la direction de changement et leurs interactions pour une grande largeur de r sonance (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Direc(2) * NivA(2) * LfinA(3)
Direc - F(1,19) = 8.9, p<.01
NivA - F(1,19) = 2.6, NS
LfinA - F(2,38) = 14.6, p<.0001
Direc * NivA - F(1,19)<1, NS
Direc * LfinA - F(2,38) = 4.5, p<.05
NivA * LfinA - F(2,38)<1, NS
Direc * NivA * LfinA - F(2,38)<1, NS

Analyse 9.6 : Comparaisons entre les effets du niveau de bourdonnement, du niveau de fin d'acc l ration ou d but de d c l ration, la direction de changement et leurs interactions pour une petite largeur de r sonance (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Direc(2) * NivA(2) * LfinA(3)
Direc - F(1,19) = 9.1, p<.01
NivA - F(1,19)<1, NS
LfinA - F(2,38) = 10.6, p<.005
Direc * NivA - F(1,19)<1, NS
Direc * LfinA - F(2,38) = 5.7, p<.05
NivA * LfinA - F(2,38) = 2.1, NS
Direc * NivA * LfinA - F(2,38) = 2.2, NS

Catégorie AD

Analyse 9.7 : Comparaisons entre les effets du profil d'acc l ration et de la largeur de bourdonnement et leur interaction (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Profil(3) * Larg(2)
Profil - F(2,38)<1, NS
Larg - F(1,19)<1, NS
Profil * Larg - F(2,38) = 2.6, NS

Analyse 9.8 : Comparaisons entre les effets du profil d'acc l ration et du niveau de bourdonnement et leur interaction pour une grande largeur de r sonance (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Profil(3) * NivC(2)
Profil - F(2,38) = 2.4, NS
NivC - F(1,19) = 1.4, NS
Profil * NivC - F(2,38)<1, NS

Analyse 9.9 : Comparaisons entre les effets du profil d'acc l ration et du niveau de bourdonnement et leur interaction pour une petite largeur de r sonance (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Profil(3) * NivC(2)
Profil - F(2,38) = 1.1, NS
NivC - F(1,19)<1, NS

Profil * NivC - F(2,38) = 1.3, NS

Catégorie BC

Analyse 9.10 : Comparaisons entre les effets du niveau en fin d'acc l ration et de la pr sence d'une modulation de niveau et leur interaction (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Mod1(3) * LfinB(2)
Mod1 - F(2,38)<1, NS
LfinB - F(1,19) = 11.4, p<.005
Mod1 * LfinB - F(2,38)<1, NS

Analyse 9.11 : Comparaisons entre les effets du niveau en fin d'acc l ration et de la pr sence de trois modulations de niveau et leur interaction (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Mod3(3) * LfinB(2)
Mod3 - F(2,38) = 2.6, NS
LfinB - F(1,19) = 17.9, p<.0005
Mod3 * LfinB - F(2,38) = 2.5, NS

Analyse 9.12 : Comparaisons entre les effets du niveau en fin d'acc l ration et de la direction et nombre des modulations de niveau et leurs interactions (analyse mesures r p t es).
Plan : S(20) * Nbr(2) * Mod(2) * LfinB(3)
Nbr - F(1,19) = 3.3, NS
Mod - F(1,19)<1, NS
LfinB - F(1,19) = 15.2, p<.001
Nbr * Mod - F(1,19) = 2.1, NS
Nbr * LfinB - F(1,19) = 3.7, NS
Mod * LfinB - F(1,19)<1, NS
Nbr * Mod * LfinB - F(1,19) = 1.8, NS

Références

Amphoux, P. (1991) Aux coutes de la ville - La qualit des espaces publics europ ens - M thode d'analyse comparative - Enqu te sur trois villes suisses. IREC, d partement d'architecture, EPF lausanne. **94**.

Anisfeld, M. et Knapp, M.E. (1968) Association, synonymity and directionality in false recognition, Journal of Experimental Psychology, **77**, 171-179.

Atkinson, R.C. et Shiffrin, R.M. (1968) Human memory: A proposed system and its control processes dans *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Spence, K., Academic press. 89-195.

Baddeley, A.D. (1966) The influence of acoustic and semantic similarity on long-term memory for word sequences, Quarterly Journal of Experimental Psychology, **18**, 302-309.

Baddeley, A.D. et Levy, B.A. (1971) Semantic coding and short-term memory, Journal of Experimental Psychology, **89**, 132-136.

Baddeley, A.D. (1986) Working memory. Oxford, OUP.

Baddeley, A.D. (1990) Human memory, theory and practice. Cambridge, UK, LEA.

Baird, J.C. et Noma, E. (1978) Fundamentals of scaling and psychophysics. New York, J. Wiley and Sons.

Baird, J.C. (1997) Sensation and judgement: Complementary theory of psychophysics. LEA.

Barlett, F.C. (1932) Remembering. Cambridge University Press.

Barth lemy, J.P. et Guenoche, A. (1988) Les arbres et les repr sentations des proximit s. Paris, Masson.

Berglund, B., Berglund, U. et Lindvall, T. (1975) Scaling loudness, noisness, and annoyance of aircraft noise, Journal of the Acoustical Society of America, **57**, 930-934.

Berglund, B. (1981) Loudness (or annoyance) summation of combined community noises, Journal of the Acoustical Society of America, **70 (6)**, 1628-1633.

Berglund, B. et Preis, A. (1997) Is perceiveid annoyance more subject-dependant than perceived loudness?, Acustica - acta acustica, **83**, 313 - 319.

Bisping, R. (1997) Car interior quality: Experimental analysis by synthesis, Acustica - Acta acustica, **83**, 813 - 818.

Bj rk, E.A. (1985) The perceived quality of natural sounds, Acustica, **57**, 185-188.

Bobbert, G. (1988) Innenger ausche von Kraftfahrzeugen (Bruit l'int rieur d'habitacle), Gemeinschaftstagung der DAGA. Braunschweig. 229-243.

Bond, B. et Stevens, S.S. (1969) Cross-modality matching of brightness by 5-years-olds, Perception and Psychophysics, **6**, 337-339.

Bonnet, C. (1986) Manuel pratique de psychophysique. Paris, Armand Collin.

Bonnet, C. (1997) Interindividual variability and training in psychophysical tasks: Sensorial and/or decisional effects?, 7th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Schick, A. et Klatte, M., BIS. Oldenburg. 549-564.

Bousfield, A. (1953) The occurrence of clustering in recall of randomly arranged associates, Journal of General Psychology, **49**, 229-240.

Bregman, A.S. (1990) Auditory scene analysis: The perceptual organisation of sound. M.I.T. Press.

Bregman, A. (1994) L'analyse des sc nes auditives dans *Penser les Sons*. McAdams, S. et Bigand, E., PUF. 11-39.

Broadbent, D.E. (1958) Perception and communication. Pergamon Press.

Brown, J. (1958) Some tests of the decay theory of immediate memory, Quarterly Journal of Experimental Psychology, **10**, 12-21.

Campbell, R. et Dodd, B. (1980) Hearing by eye, Quarterly Journal of Experimental Psychology, **32**, 85-99.

Can vet, G. et Scharf, B. (1990) The loudness of sounds that increase and decrease continuously in level, Journal of the Acoustical Society of America, **88**, 2136-2142.

Can vet, G. (1992-1993) Cours de Psychoacoustique. Marseille, LMA.

Can vet, G., Regal, X., Sauvage, O., Teghtsoonian, R. et Teghtsoonian, M. (1999) Further studies of auditory decruitment and a visual analog, ASA & EEA joint meeting. ACUSTICA - acta acustica. Berlin, Germany.

Cherry, E.C. (1953) Some experiments on the recognition of speech, with one and two ears, Journal of the Acoustical Society of America, **25**, 975 - 979.

Collins, A.M. et Quillian, M.R. (1969) Retrieval time from semantic memory, Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, **8**, 240-247.

Coltheart, M. (1983) Iconic memory, Philosophical Transactions of the Royal Society, **302**, 283-294.

Conrad, R. (1964) Acoustic confusion in immediate memory, British Journal of Psychology, **55**, 75-84.

Cornsweet, T.N. (1962) The staircase-method in psychophysics, American Journal of Psychology, **75**, 485-491.

Cowan, N. (1984) On short and long auditory stores, Psychological Bulletin, **96**, 341-370.

Craik, F.I.M. (1970) The fate of primary recallmemory items in free recall, Journal of Experimental Psychology, **9**, 143-148.

Crowder, R.G. et Morton, J. (1969) Precategorial acoustic storage (PAS), Perception and Psychophysics, **5**, 365-373.

Crowder, R.G. (1971) The sound of vowels and consonants in immediate memory, Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, **10**, 587-596.

Crowder, R.G. (1976) Principles of learning and memory. Hillsdale, NJ, LEA.

Crowder, R.G. (1989) Imagery for musical timbre, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, **15**, 472-478.

Darwin, C.J., Turvey, M.T. et Crowder, R.G. (1972) An auditory analogue of the Sperling partial-report procedure: Evidence for brief auditory storage, Cognitive Psychology, **3**, 255 - 267.

Darwin, C.J. et Baddeley, A.D. (1974) Acoustic memory and the perception of speech, Cognitive Psychology, **6**, 41-60.

Deatherage, B.H. et Evans, T.R. (1969) Binaural masking: Backward, forward and simultaneous effects, Journal of the Acoustical Society of America, **46**, 362-371.

Depalle, P., Garc a, G. et Rodet, X. (1993) Tracking of partials for additive sound synthesis using hidden Markov models, ICASSP. I225-I228.

Deutsch, D. (1970) Tones and numbers: Specificity of interference in short-term memory, Science, **168**, 1604-1605.

Dixon, W.J. et Mood, A.M. (1948) A method for obtaining and analyzing sensitivity data, Journal of the American Statistical Association, **43**, 109-126.

Ebbinghaus, H. (1885) ber das Ged chtnis. Dunker.

Ehrlich, S. (1972) La capacit d'appr hension verbale. PUF.

Ekman, G. et Sj berg, L. (1965) Scaling, Ann. Rv. Psych., **16**, 451-474.

Engen, T. et Tulunay, . (1957) Some sources of error in half-heaviness judgments, Journal of Experimental Psychology, **54**, 208-212.

Engen, T. et Ross, B.M. (1966) Effects of reference numbers on magnitude estimation, Perceptions and Psychophysic, **1**, 74-76.

Farah, M.J. (1988) Is visual imagery really visual? Overlooked evidence from neuropsychology, Psychological Review, **95**, 475-478.

Fastl, H. (1989) Average loudness of road traffic noise, International Conference on Noise Control Engineering. InterNoise 89.

Fastl, H. (1991) Evaluation and measurement of perceived average loudness, Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Schick, A., Hellbr ck, J. et Weber, R., BIS. Oldenburg. 205-216.

Fechner, G.T. (1966) Elements of Psychophisics. New York, Holt, Rinehart et Winston (Original 1860).

Feldtkeller, R., Zwicker, E. et Port, E. (1959) Lautstarke : Verh ltnislautheit and Summenlautheit, Frequenz, **4**, 108.

Fraisse, P. (1967) Psychologie du temps. Paris, PUF.

Fraisse, P. (1974) Manuel pratique de psychologie exp rimentale. Paris, PUF.

Fullerton, G.S. et Cattell, J.M. (1892) On the perception of small differences. Philadelphia, University of Pennsylvania.

Galanter, E. et Messick, S. (1961) The relation between category and magnitude scales of loudness, Psychological Review, **38**, 363-374.

Galton, F. (1883) Inquiries into human faculty and its development. Everyman Edition.

Garner, W.R. (1952) Some statistical aspects of half-loudness judgments, Journal of the Acoustical Society of America, **24**, 153-157.

Garner, W.R. (1954) Context effects and the validity of loudness scales, Journal of Experimental Psychology, **48**, 218-224.

Gescheider, G.A. (1976) Psychophysics: Method and theory. LEA.

Gibson, R.H. et Tomko, D.L. (1972) The relation between category and magnitude stimates of tactile intensity, Perception and Psychophysics, **12**, 135-138.

Glucksberg, S. et Cowan, G.N. (1970) Memory for nonattentended auditory material, Cognitive Psychology, **1**, 149-156.

Gol'dhurt, S.N. (1961) Investigation of the stability of auditory processes in micro-intervals of time (new findings on back masking), Biofizika, **6**, 717-724.

Gottschling, G. (1999) On the relations of instantaneous and overall loudness, Acustica - acta acustica, **85**, 427-429.

Grossman, L. et Eagle, M. (1970) Synonymity, antonymity and association in false recognition responses, Journal of Experimental Psychology, **83**, 244-248.

Guilford, J.P. (1954) Psychometric Methods. New York, McGraw-Hill.

Guttam, N. et Julesz, B. (1963) Lower limits of auditory periodicity analysis, Journal of the Acoustical Society of America, **35**, 610.

Guyot, F., Castellengo, M., Vogel, C. et Maffiolo, V. (1996) Une m thode d' tude de la qualit acoustique des sons r els complexes, Acoustique & Techniques, **7**, 23-26.

Hardy, J.D., Wolff, H.G. et Goodell, H. (1947) Studies of pain : Discrimination of differences in pain as a basis of a scale of pain intensity, Journal of Clinical Investigation, **26**, 1152-1158.

Hardyk, C.D. et Petrinovitch, L.R. (1970) Subvocal speech and comprehension level as a function of the difficulty level of reading material, Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, **9**, 647-652.

Harper, R.S. et Stevens, S.S. (1948) A Psychhological scale for weight and a formula for its derivation, American Journal of Psychology, **61**, 343-351.

Haubenask, G. (1992) The consistency model : A process model for absolute judgements, Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance, **18**, 303-309.

Hedberg, D. et Jansson, C. (1998) Continuous rating of sound quality. Technical Audiology, Karolinska Institutet. **Report TA 134**.

Hellman, R.P. et Zwislocki, J.J. (1961) Some factors affecting the estimation of loudness, Journal of the Acoustical Society of America, **33**, 687-694.

Hellman, R.P. et Zwislocki, J.J. (1963) Monaural loudness function of a 1000-cps tone and internal summation, Journal of the Acoustical Society of America, **35**, 856-865.

Hellman, R.P. et Zwislocki, J.J. (1964) Loudness function of a 1000-cps tone in the presence of a masking noise, Journal of the Acoustical Society of America, **36**, 1618-1627.

Hellman, R.P. et Zwislocki, J.J. (1968) Loudness determination at low sound frequencies, Journal of the Acoustical Society of America, **43**, 60-64.

Hugonnet, C. et Walder, P. (1995) Th orie et pratique de la prise de son st r ophonique. Paris, Eyrolles.

Jones, M.R. et Yee, W. (1994) L'attention aux v nements auditifs: Le r le de l'organisation temporelle dans *Penser les sons*. McAdams, S. et Bigand, E., PUF. 75-121.

Keppel, G. et Underwood, B.J. (1962) Proactive inhibition in short-term retention of single items, Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, **1**, 401-412.

Kolers, P.A. et Roediger, H.L. (1984) Procedures of mind, Journal of Verbal Learning and Verbal trends in ethnimusicology, **11**, 1-24.

Krumhansl, C.L. (1979) The Psychological representation of musical pitch in a tonal context, Cognitive Psychology, **11**, 346-374.

Krumhansl, C.L. (1983) Perceptual structures for tonal music, Music Perception, **1**, 28-62.

Kuwano, S. et Namba, S. (1978) On the loudness of road traffic noise of longer duration (20 min) in relation to instantaneous judgment., Journal of the Acoustical Society of Amererica (ASA & ASJ joint meeting), **64**, 127-128.

Kuwano, S. et Namba, S. (1985) Continuous judgement of level-fluctuating sounds and the relationship between overall loudness and instantaneous loudness, Psychology Research, **47**, 27-37.

Kuwano, S., Namba, S. et Fastl, H. (1988) On the judgement of loudness, noisiness and annoyance with actual and artificial noises, Journal of Sound and Vibration, **127**, 457-465.

Kuwano, S., Namba, S., Berglund, B., Berglund, U. et Lingberg, S. (1988) On the definition of loudness, noisness, and annoyance using selected description method, Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem, **3**, 223-228.

Kuwano, S. et Namba, S. (1990) Continuous judgement of loudness and annoyance, Fetchner Day, Proceedings of the 6th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics. M ller, F., W rzburg, Germany. 129-134.

Kuwano, S., Namba, S., Hato, T., Matui, M., Miura, K. et Imai, H. (1993) Psychological evaluation of noise in passenger cars: Analysis in diff rent group of subjects in nationality, age and gender, Sixth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Chick, A., BIS. Oldenburg. 521-536.

Kuwano, S. et Namba, S. (1995) Long-term evaluation of noise, 15th International Congress on Acoustics. M. Newman. Trondheim, Norway. 169-172.

Kuwano, S. (1996) Continuous judgment of temporally varying sounds dans *Hearing research*. Fastl, H., Kuwano, S. et Schick, A., BIS. Oldenburg. 193-214.

Lindemann, E., Puckette, M., Viara, E., Cecco, M.D., Dechelle, F. et Smith, B. (1991) The architecture of the IRCAM Musical Workstation, Computer Music Journal, **15(3)**, 41-49.

Loftus, G.R. et Loftus, E.F. (1976) Human Memory: the processing of information. Hillsdale, New Jersey, LEA.

Luce, R.D. et Edwards, W. (1958) The derivation of subjective scales from just noticeable differences, Psychological Review, **65**, 222-237.

Madsen, C.K. (1996) Empirical Investigation of the "Aesthetic Response" to music: Musicians and nonmusicians, 4th International Conference on Music Perception and Cognition. Montreal, Canada. 103-110.

Maffiolo, V., Vogel, C., Polack, J.D., Castellengo, M., Dubois, D. et David, S. (1997) Ambiances sonores repr sentatives d'une ville: Le cas de Paris, 4 me Congr s fran ais d'Acoustique. Teknea, Marseille, France. 303-306.

Maffiolo, V., Dubois, D., David, S., Castellengo, M. et Polack, J.D. (1998) Loudness and pleasantness in structuration of urban soundscapes, InterNoise. New Zealand.

Manning, S.K. (1980) Tactual and visual alphanumeric suffix effects, Quarterly Journal od Experimental Psychology, **32**, 257-267.

Massaro, D.W. (1970) Perceptual processes and forgetting in memory tasks, Psychological Review, **77**, 557-567.

Merkel, J. (1888) Die Abh ngigkeit zwischen Reiz und Emppfindung, Philosophische Studien, **4**, 541-594.

Miller, G. (1956) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity to process information, Psychological Review, **63**, 81-97.

Milner, B. (1966) Amnesia following operation on the temporal lobes dans *Amnesia*. Hitty, C. M. et Zangwill, O. L., Butterworths. 109-133.

Moore, B.C.J. et Glasberg, B.R. (1996) A revision of Zwicker's loudness model, ACUSTICA - acta acustica, **82**, 335-345.

Moray, N. (1959) Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions, Quaterly Journal of Experimental Psychology, **11**, 59 - 60.

Moray, N., Bates, A. et Barnett, T. (1965) Experiments on the four-eared man, Journal of the Acoustical Society of America, **38**, 196-201.

Murdock, B.B. (1962) The serial position effect of free recall, Journal of Experimental Psychology, **64**, 482-488.

Namba, S. et Kuwano, S. (1988) Measurement of habituation to noise using the method of continuous judgement by category, Journal of Sound and Vibration, **127**, 507-512.

Namba, S., Kuwano, S., Hatoh, T. et Kato, M. (1991) Assement of musical performance by using the method of continuous judgement by selected description, Music Perception, **8**, 251-276.

Namba, S. et Kuwano, S. (1991) Continuous judgements of noise events, Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Schick, A., Hellbr ck, J. et Weber, R., BIS. Oldenburg. 217-226.

Namba, S., Kuwano, S., Yamasaki, T. et Nishiyama, K. (1993) Dynamic caracteristics of hearing and the impression of legato in music performance, Sixth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Schick, A., BIS. Oldenburg. 171-190.

Namba, S., Kato, T. et Kuwano, S. (1995) Long-term evaluation of the loudness of train noise in laboratory situation, 15th International Congress on Acoustics. Mike Newman. Trondheim, Norway. 215-218.

Neisser, U. (1967) Cognitive psychology. Appleton-Century-Crofts.

Ollerhead, J.B. (1978) Predicting public reaction to noise from mixed sources, InterNoise.

Oppenheim, A.V. et Schafer, R.W. (1975) *Digital Signal Processing*. Prentice-Hall.

Parducci, A. (1982) Category ratings: Still more contextual effects dans *Social attitudes and psychological measurement*. Wegener, B., 262-282.

Parducci, A. et Wedell, D.H. (1986) The category effect with rating scales: Number of categories, number of stimuli, and method of presentation, Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance, **12**, 496-516.

Parizet, E., Deumier, S. et Milland, E. (1996) Car road noise annoyance: Significant timbre parameters and inter-individual variability, Acustica - acta acustica, **82**,

Parizet, E. (1996) Evaluation perceptive du bruit dans un v hicule routier, Acoustique & Techniques, **5**, 15 - 19.

Pavio, A. (1969) Mental imagery in association learning and memory, Psychological Review, **76**, 241-263.

Peterson, L.R. et Peterson, M.J. (1959) Short-term retention of individual verbal items, Journal of Experimental Psychology, **58**, 193-198.

Plomb, R. (1964) Decay of auditory sensation, Journal of the Acoustical Society of America, **36**, 277-282.

Plomp, R. (1976) Aspects of tone sensation. Academic Press.

Poulton, E.C. (1989) Bias in quantifying judgments. Lawrence Erlbaun Associates.

Pradhan, P.L. et Hoffman, P.J. (1963) Effect of spacing and ranged of stimuli on magnitude estimation judgements, Journal of Experimental Psychology, **66**, 533-541.

Robinson, D.W. (1953) The subjective loudness scale, Acustica, **7**, 217-233.

Ronnebaum, T., Schlute-Fortkamp, B. et Weber, R. (1997) Evaluation of combined noise sources, Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Schick, A. et Klatte, M., BIS. Oldenburg. 171-190.

Rosch, E. (1978) Principles of categorisation dans *Cognition and Categorization*. Rosch, E. et Lloyd, B. B., 27-47.

Ruyer et Bussenius, C.E. (1913) Memory. Teacher College, Columbia University.

Santon, F., Marchioni, A. et Susini, P. (1994) L'intelligibilit de la parole en pr sence d'un cho et de bruit, Troisi me Congr s Fran ais d'Acoustique. Physique, J. d., C. Legros. Toulouse, France. 537 -540.

Schaefer, P. (1991) Perceived annoyance of time varying sound levels, Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Schick, A., Hellbr ck, J. et Reinhard, W., BIS. Oldenburg. 227-235.

Schafer, R.M. (1979) Le paysage sonore. New York (version originale), M&M.

Scharf, B. et Stevens, J.C. (1959) The form of the loudness function near threshold, Proceedings of the Third International Congress on Acoustics. Elsevier (Amsterdam, 1961). Stuttgart.

Scharf, B. (1978) Loudness dans *Handbook of Perception.* Carterette, E. C. et Friedman, M. P., Academic. New York. 187-242.

Schubert, E. (1996) Continuous response to music using the two dimensional emotion space, 4th International Conference on Music Perception and Cognition. Montreal, Canada. 263-268.

Semal, C. et Demany, L. (1991) Dissociation of pitch from timbre in auditory short-term memory, Journal of th Acoustical Society of America, **89**, 2404-2410.

Senders, V.L. (1958) Measurement and statistics.

Smith, B. (1995) PsiExp: an environment for psychoacoustic experimentation using the IRCAM musical workstation, Society for Music Perception and Cognition Conference'95. University of California, Berkeley.

Sperling, G. (1960) The information available in brief visual presentations, Psychological Monographs: General and applied, **74**, 1-29.

Sperling, G. (1963) A model for visual memory tasks, Human factors, **5**, 19-31.

Springer, N., Schick, A. et Weber, R. (1997) Instantaneous and overall loudness of temporally variable pink noise, 7th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Schick, A. et Klatte, M., BIS. Oldenburg. 91-98.

Stevens, S.S. (1951) Mathematics, measurement and psychophysics dans *Handbook of Experimental Psychology*. Stevens, S. S., John Wilet and Sons. New York.

Stevens, S.S. (1955) The measurement of loudness, Journal of the Acoustical Society of America, **27**, 815-820.

Stevens, S.S. (1956) The direct estimation of sensory magnitude-loudness, American Journal of Psychology, **69**, 1-25.

Stevens, S.S. et Poulton, E.C. (1956) The estimation of loudness by unpracticed observers, Journal of Experimental Psychology, **51**, 71-78.

Stevens, S.S. (1957) On the psychophysical law, Psychological Review, **64**, 153-181.

Stevens, S.S. et Galanter, E.H. (1957) Ratio scales and category scales for a dozen perceptual continua, Journal of Experimental Psychology, **54**, 377-411.

Stevens, J.C. et Tulving, E. (1957) Estimations of loudness by a group of untrained observers, The American Journal of Psychology, **70**, 600-605.

Stevens, S.S. et Galanter, E.H. (1957) Ratio scales and category scales for a dozen perceptual continua, Journal of Experimental Psychology, **54**, 377-411.

Stevens, J.C. (1958) Stimulus spacing and the judgement of loudness, Journal of the Acoustical Society of America, **56**, 246-250.

Stevens, J.C. et Mack, J.D. (1959) Scales of apparent force, Journal of Experimental Psychology, **58**, 405-413.

Stevens, S.S. (1959) Cross-modality validations of subjective scales for loudness, vibrations, and electric shock, Journal of Experimental Psychology, **57**, 201-209.

Stevens, S.S. (1959) Tactile vibration: Dynamics of sensory intensity, Journal of Experimental Psychology, **57**, 210-218.

Stevens, J.C., Mack, J.D. et Stevens, S.S. (1960) Crowth of sensation on seven continua as measured by force of handgrip, Journal of Experimental Psychology, **59**, 60-67.

Stevens, J.C. et Guirao, M. (1964) Individual loudness functions, Journal of the Acoustical Society of America, **36**, 2210-2213.

Stevens, S.S. (1965) Matching functions between loudness and ten other continua, Perception and Psychophysics, **1**, 5-8.

Stevens, S.S. (1969) Le quantitatif et la perception, Bulletin de Psychologie, **22**, 696-715.

Stevens, S.S. (1975) Psychophysics : introduction to its perceptual, neural and social prospects. Wiley.

Susini, P., McAdams, S. et Winsberg, S. (1997) Caract risation perceptive des bruits de v hicules, Actes du 4 me Congr s fran ais d'acoustique. Teknea, Marseille, France. 543-546.

Susini, P. et McAdams, S. (1998) Global and continuous judgements of sounds with time-varying intensity : cross-modal matching with a proprioceptive input device, ICA & ASA joint meeting. Journal of the Acoustical Society of America. Seattle, USA. 2812.

Susini, P. et Maffiolo, V. (1999) Loudness evaluation of urban soundscapes by a cross-modal matching method, EAA & ASA joint meeting. Journal of the Acoustical Society of America. Berlin, Allemagne. 943.

Susini, P., McAdams, S. et Winsberg, S. (1999) A multidimensional technique for sound quality assessment, ACUSTICA - acta acustica, **5**, 650-656.

Susini, P. et McAdams, S. (accept) Psychophysical validation of a proprioceptive device by cross-modal matching of loudness, ACUSTICA - acta acustica,

Susini, P., McAdams, S. et Smith, B. (soumis) Comparison of two methods for continuous loudness estimation of time-varying levels, ACUSTICA - acta-acustica,

Terhardt, E. (1974) Perception of sound fluctuations, Acustica, **30**, 200-213.

Torgerson, W.S. (1958) Theory and methods of scaling. New York, J. Wiley and Sons.

Tulving, E. (1983) Elements of episodic memory. OUP.

Vogel, C., Maffiolo, V., Polack, J.-D. et Castellengo, M. (1997) Validation subjective de la prise de son ext rieur, 4 me Congr s fran ais d'Acoustique. Teknea. Marseille, France.

Vos, J. (1992) Annoyance due to combination of noises, Journal of the Acoustical Society of America, **91 (6)**, 3330-3345.

Weber, R. (1991) The continuous loudness judgement of temporally variable sounds with an "analog" category procedure, Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Schick, A., Hellbr ck, J. et Weber, R., BIS. Oldenburg. 267-294.

Zwicker, E. (1988) Loudness patterns (ISO 532 B) an excellent guide to noise-reduced design and to expected public reactions., Proc. of NOISE CON '88, Nat. Conf. on Noise Control Engineering. Bolton, J. S., Purdue Univ. New York. 15-26.

Zwicker, E. et Fastl, H. (1990) Psychoacoustics: Facts and models. Berlin, Springer-Verlag.