



Perception du bruit extérieur d'un véhicule urbain de livraison

Emilie Geissner

► To cite this version:

Emilie Geissner. Perception du bruit extérieur d'un véhicule urbain de livraison. Acoustique [physics.class-ph]. INSA de Lyon, 2006. Français. NNT : . tel-00131513

HAL Id: tel-00131513

<https://theses.hal.science/tel-00131513>

Submitted on 26 Feb 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° d'ordre : 2006-ISAL-00115

Année 2006

Thèse

PERCEPTION DU BRUIT EXTERIEUR D'UN VEHICULE URBAIN DE LIVRAISON

présentée devant

L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

pour obtenir

Le grade de docteur

École doctorale : Mécanique, Énergétique, Génie Civil et Acoustique (MEGA)

Spécialité : Acoustique

par

Emilie GEISSNER

Ingénieur diplômée de l'INSA de Rouen

Soutenue le 12 décembre 2006 devant la commission d'examen

Jury

ELLERMEIER Wolfgang	Professeur (Aalborg University)	Rapporteur
FAVRE Bernard	Docteur d'Etat (Renault Trucks)	
GROS Laetitia	Docteur (France Télécom R&D TECH/QVP)	
NOSULENKO Valery	Professeur (Académie des Sciences de Russie)	Président
PARIZET Etienne	Professeur (INSA Lyon)	Directeur
SUSINI Patrick	Docteur (IRCAM Paris)	
WEBER Reinhard	Professeur (CvO Universität Oldenburg)	Rapporteur

Écoles doctorales habilitées pour la période 2003-2007

2005

SIGLE	ECOLE DOCTORALE	NOM ET COORDONNEES DU RESPONSABLE
	<u>CHIMIE DE LYON</u> Responsable : M. Denis SINOU	M. Denis SINOU Université Claude Bernard Lyon 1 Lab Synthèse Asymétrique UMR UCB/CNRS 5622 Bât 308 2 ^{ème} étage 43 bd du 11 novembre 1918 69622 VILLEURBANNE Cedex Tél : 04.72.44.81.83 Fax : 04 78 89 89 14 sinou@univ-lyon1.fr
E2MC	<u>ECONOMIE, ESPACE ET MODELISATION DES COMPORTEMENTS</u> Responsable : M. Alain BONNAFOUS	M. Alain BONNAFOUS Université Lyon 2 14 avenue Berthelot MRASH M. Alain BONNAFOUS Laboratoire d'Economie des Transports 69363 LYON Cedex 07 Tél : 04.78.69.72.76 Alain.bonnafous@ish-lyon.cnrs.fr
E.E.A.	<u>ELECTRONIQUE, ELECTROTECHNIQUE, AUTOMATIQUE</u> M. Daniel BARBIER	M. Daniel BARBIER INSA DE LYON Laboratoire Physique de la Matière Bâtiment Blaise Pascal 69621 VILLEURBANNE Cedex Tél : 04.72.43.64.43 Fax 04 72 43 60 82 Daniel.Barbier@insa-lyon.fr
E2M2	<u>EVOLUTION, ECOSYSTEME, MICROBIOLOGIE, MODELISATION</u> http://biomserv.univ-lyon1.fr/E2M2 M. Jean-Pierre FLANDROIS	M. Jean-Pierre FLANDROIS UMR 5558 Biométrie et Biologie Evolutive Equipe Dynamique des Populations Bactériennes Faculté de Médecine Lyon-Sud Laboratoire de Bactériologie BP 1269600 OULLINS Tél : 04.78.86.31.50 Fax 04 72 43 13 88 E2m2@biomserv.univ-lyon1.fr
EDIIS	<u>INFORMATIQUE ET INFORMATION POUR LA SOCIETE</u> http://www.insa-lyon.fr/ediis M. Lionel BRUNIE	M. Lionel BRUNIE INSA DE LYON EDIIS Bâtiment Blaise Pascal 69621 VILLEURBANNE Cedex Tél : 04.72.43.60.55 Fax 04 72 43 60 71 ediis@insa-lyon.fr
EDISS	<u>INTERDISCIPLINAIRE SCIENCES-SANTE</u> http://www.ibcp.fr/ediss M. Alain Jean COZZONE	M. Alain Jean COZZONE IBCP (UCBL1) 7 passage du Vercors 69367 LYON Cedex 07 Tél : 04.72.72.26.75 Fax : 04 72 72 26 01 cozzone@ibcp.fr
	<u>MATERIAUX DE LYON</u> http://www.ec-lyon.fr/sites/edml M. Jacques JOSEPH	M. Jacques JOSEPH Ecole Centrale de Lyon Bât F7 Lab. Sciences et Techniques des Matériaux et des Surfaces 36 Avenue Guy de Collongue BP 163 69131 ECULLY Cedex Tél : 04.72.18.62.51 Fax 04 72 18 60 90 Jacques.Joseph@ec-lyon.fr
Math IF	<u>MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE FONDAMENTALE</u> http://www.ens-lyon.fr/MathIS M. Franck WAGNER	M. Franck WAGNER Université Claude Bernard Lyon1 Institut Girard Desargues UMR 5028 MATHEMATIQUES Bâtiment Doyen Jean Braconnier Bureau 101 Bis, 1 ^{er} étage 69622 VILLEURBANNE Cedex Tél : 04.72.43.27.86 Fax : 04 72 43 16 87 wagner@desargues.univ-lyon1.fr
MEGA	<u>MECANIQUE, ENERGETIQUE, GENIE CIVIL, ACOUSTIQUE</u> http://www.lmfa.ec-lyon.fr/autres/MEGA/index.html M. François SIDOROFF	M. François SIDOROFF Ecole Centrale de Lyon Lab. Tribologie et Dynamique des Systèmes Bât G8 36 avenue Guy de Collongue BP 163 69131 ECULLY Cedex Tél : 04.72.18.62.14 Fax : 04 72 18 65 37 Francois.Sidoroff@ec-lyon.fr

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de recherche, Etienne Parizet, pour sa disponibilité, sa patience et ses précieux conseils.

Je remercie vivement Wolfgang Ellermeier et Reinhart Weber d'avoir accepté d'examiner ce manuscrit, ainsi que Laetitia Gros, Bernard Favre et Patrick Susini d'avoir accepté d'être membre du jury. Merci à Valéry Nosulenko pour l'avoir présidé, mais aussi pour son aide précieuse à la mise en place et à l'analyse des sessions de verbalisations libres.

Un grand merci à l'équipe Exterior Noise de Volvo 3P : Nicolas Blairon, Vincent Sartre, Bruno Carton ainsi que les chauffeurs ayant participé aux enregistrements des séquences sonores.

Merci à tous les sujets qui ont participé aux différents tests perceptifs ayant permis de réaliser ce travail.

Cette étude a été réalisée grâce au soutien financier de la région Rhône-Alpes, dans le cadre de la Thématique Prioritaire 2003-2005 n°6 : Aide à la décision : Transports.

Ce document constitue l'aboutissement de trois années de thèse passées au Laboratoire Vibrations Acoustique de l'INSA de Lyon dont je tiens à remercier l'ensemble des membres, anciens et nouveaux : Céline, Nico, Quentin, Tonio, Jean-Louis, Nacer, Claude, Nathalie, Calin, Anne, Morvan, Salim, Thomas, François, Goran, Corinne, Yoyo et JD. Un merci tout particulier à Charles pour le coup de pouce pour l'analyse de données "molles". Clins d'oeil à Simon pour sa placidité face aux râleries quotidiennes de sa co-bureau et à Jérémie pour son humour *détonant*.

Merci à la tribu des orgas JJCAAS 2006 pour la bonne humeur et tout le travail fourni avant, pendant et après ces Journées organisées *pour et par* des Jeunes Chercheurs (<http://www.jjcaas.org>).

Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, de façon plus ou moins directe, ont contribué à l'aboutissement de ce travail de thèse.

Un grand merci à mes parents pour leur soutien inconditionnel (et plus particulièrement à mon instit' de mère pour la chasse aux fautes d'orthographe dans le manuscrit) ainsi qu'à toute ma famille (et de trois !).

Enfin, je remercie de tout mon coeur Vincent qui a su décupler des ressources de patience et de tendresse déjà énormes, pour me supporter durant les derniers mois de la thèse.

à Edmond

Table des matières

Écoles doctorales habilitées pour la période 2003-2007	3
Remerciements	5
Table des matières	9
Liste des figures	15
Liste des tableaux	21
Introduction - Bibliographie	23
1 Bruit des transports	26
1.1 La loi bruit et la législation en France	26
1.2 Les Directives Européennes	27
1.2.1 Mesure réglementaire du niveau de bruit	27
1.3 Le transport de marchandises en ville en chiffres	28
1.4 Le projet Low-noise Urban Truck	29
2 La gêne et le désagrément perçus	30
2.1 Bruit, gêne et désagrément	30
2.1.1 Le bruit, la bruyance	30
2.1.2 La gêne	30
2.1.3 Le désagrément	31
2.1.4 Un concept multicritère	32
2.1.5 De l'effet de la signification d'un son sur son évaluation	32
2.2 Attributs auditifs du son et modèles de désagrément	33
2.2.1 Les descripteurs physiques	33
2.2.2 Les indicateurs perceptifs	34
2.2.3 Les modèles de désagrément	37
2.3 Mesurer la gêne	38
2.3.1 Le test de comparaison par paires	39
2.3.2 Les verbalisations libres	40
3 Évaluation continue de sons de longue durée	43
3.1 La mémoire	43
3.1.1 Les trois mémoires, processus de stockage	43
3.1.2 Le codage des informations	44
3.1.3 Effets de récence et de primauté de la mémoire auditive	44

3.2	Les méthodes d'évaluation continue	45
3.2.1	Quatre familles de méthodes d'évaluation continue	45
3.2.2	D'autres dispositifs d'évaluation continue	48
3.3	L'analyse des résultats	50
3.3.1	Traitement des données	50
3.3.2	Extraction de paramètres pour un évènement donné	52
3.3.3	Traitements globaux des courbes de réponses	53
3.3.4	Évaluation globale de séquences sonores de longue durée	57
I	Évaluation continue du désagrément d'une séquence sonore synthétique	61
	Introduction	62
4	Protocole	63
4.1	Stimuli	63
4.1.1	Types de sons	63
4.1.2	Enveloppes temporelles	63
4.1.3	Génération de la séquence finale	65
4.2	Mise en place des sessions de tests	68
4.2.1	Attribut perceptif à évaluer : emploi du terme <i>gêne</i> pour évaluer le <i>désagrément</i>	68
4.2.2	Test de comparaison par paires	68
4.2.3	Session d'évaluation continue	69
4.3	Auditeurs	70
5	Résultats	71
5.1	Analyse des réponses au test de comparaison par paire	71
5.2	Analyse des réponses à l'évaluation continue	73
5.2.1	Faisabilité de la tâche	73
5.2.2	Plusieurs façons de répondre en continu	74
5.2.3	Scores moyens du désagrément des sons évalués	76
5.2.4	Influence de l'enveloppe temporelle sur le niveau de désagrément perçu	77
5.2.5	Résultats complémentaires	80
	Conclusion	85
II	Évaluation perceptive du bruit d'un véhicule de livraison par la méthode d'évaluation continue et les verbalisations libres	87
	Introduction	88
6	La séquence sonore de livraison	89
7	Protocole du test perceptif	91
7.1	Matériel	91
7.2	Procédure expérimentale	91
7.3	Attribut à évaluer	92
7.4	Auditeurs	92

8	Création de la base de données des verbalisations libres	93
8.1	Introduction	93
8.2	Indexation des unités verbales	93
8.3	Codage des unités verbales selon leurs significations	94
8.4	Localisation des micro-séquences sonores liées aux sources perçues par les auditeurs	95
8.5	Modifications de la base de données	96
9	Analyses des verbalisation libres	98
9.1	Répartition des unités verbales	98
9.1.1	Répartition des unités verbales par micro-séquence	99
9.1.2	Répartition des unités verbales par sources	101
9.1.3	Répartition des unités verbales par descripteurs	102
9.2	Identification des actions et des sources - analyse du descripteur <i>explicite</i>	104
9.2.1	Identification des sources	104
9.2.2	Identification du contenu des micro-séquences	105
9.3	Analyse de la gêne exprimée	106
9.3.1	Analyse du descripteur <i>gênant</i>	106
9.3.2	Relation entre les descripteurs <i>gênant</i> et <i>explicite</i>	108
9.3.3	Relation entre les descripteurs <i>gênant</i> et <i>fort</i>	108
9.3.4	Relation entre le descripteur <i>gênant</i> et les autres descripteurs	110
9.4	Portraits verbaux	110
9.4.1	Actions liées aux bruits du moteur	110
9.4.2	Actions liées aux bruits du hayon	110
9.5	Conclusion	113
10	Analyses des réponses à l'évaluation continue	114
10.1	Faisabilité de la tâche	114
10.2	Réponse moyenne à l'évaluation continue	115
10.3	Calcul du temps de réaction des auditeurs	115
10.4	Réponse moyenne recentrée	117
10.5	Analyse des réponses par micro-séquences	118
10.5.1	Comparaison des résultats de désagrément obtenus avec les deux méthodes	121
10.6	Analyse d'évènements sonores	123
	Conclusion	126
III	Application à la gêne dans les habitations	127
	Introduction	128
11	Protocole	129
11.1	Stimuli	129
11.2	Procédure expérimentale	130
11.2.1	Attribut à évaluer	130
11.2.2	Protocole du test perceptif	131
11.2.3	Auditeurs	131

12 Résultats	132
12.1 Analyse des réponses à l'évaluation globale	132
12.2 Analyse des réponses à l'évaluation continue	133
12.2.1 Faisabilité de la tâche	133
12.2.2 Calcul des réponses moyennes	133
12.2.3 Analyse par micro-séquences	135
12.3 Comparaison des résultats entre évaluations continue et évaluation globale	138
12.4 Analyse de la stabilité des réponses à l'évaluation continue	139
Conclusion	140
 IV Application au bruit d'accélération	 141
Introduction	142
13 Protocole	143
13.1 Objet de l'étude	143
13.2 Protocole d'enregistrement	143
13.3 Procédure expérimentale	144
14 Résultats	145
14.1 Analyse des réponses à l'évaluation globale	145
14.2 Analyse des réponses à l'évaluation continue	146
14.2.1 Plusieurs façons de répondre en continu	146
14.2.2 Réponse moyenne à l'évaluation continue	147
14.3 Comparaison de la gêne évaluée par les deux méthodes d'évaluation	151
Conclusion	152
 V Lien entre évaluation continue et jugement global	 153
Introduction	154
15 Protocole	155
15.1 Stimuli	155
15.2 Procédure expérimentale	155
15.2.1 Attribut à évaluer	155
15.2.2 Protocole du test perceptif	156
15.2.3 Auditeurs	156
16 Résultats	157
16.1 Analyse des résultats de l'évaluation continue	157
16.1.1 Faisabilité de la tâche	157
16.1.2 Calcul de la réponse moyenne	157
16.1.3 Comparaison des trois études sur la séquence de livraison	158
16.2 Analyse des réponses aux huit extraits sonores	160
16.2.1 Évaluation continue	160
16.2.2 Jugement global	162

16.3 Comparaison de la gêne évaluée par les méthodes d'évaluation continue et de jugement global	162
Conclusion	165
Conclusion et Perspectives	167
Annexes	181
A Les échelles de mesure psychophysiques	182
B Consignes pour l'évaluation perceptive de la séquence sonore synthétique	183
B.1 Introduction au test et consigne pour l'évaluation continue	183
B.2 Test par paires - consigne donnée à l'écran	184
C Scénario de la séquence de livraison, Partie 2	185
C.1 Chronologie des opérations de livraison	185
C.2 Schéma des opérations de la séquence de livraison	187
D Consigne pour l'évaluation perceptive de la séquence sonore de livraison	191
E Portraits verbaux	194
E.1 Manipulation du transpalette	194
E.1.1 Déplacement du transpalette (MS14)	194
E.1.2 Choc du transpalette sur le sol de la remorque (MS11)	195
E.2 Manipulation des portes	195
E.2.1 Fermeture des portières de la cabine	195
E.2.2 Utilisation de la porte latérale	196
E.3 Bruit des suspensions	196
F Scénario de la séquence de livraison réduite, Partie III	197
G Consignes pour l'évaluation perceptive de la séquence de livraison intérieur/extérieur et des bruits de boîte de vitesse	198
H Consignes pour l'évaluation perceptive de la séquence de livraison réduite - Part 5	200

Table des figures

1.1	Protocole de mesure réglementaire de niveau de pression pour un véhicule en mouvement 1.1.	28
2.1	Échelles de réponses pour trois types de tests de comparaison par paires d'après l'étude de Parizet et al. [PHS 05].	40
2.2	Exemple de portraits verbaux : bruits de véhicules à moteur diesel, d'après l'étude de Nosulenko et al. [NPS 98].	42
3.1	Exemples d'enregistrements de jugements en continu : (a) par catégories [KN 85], (b) analogique [FAS 91], (c) analogique catégoriel [WEB 91] et (d) sémantique [NKHK 91].	46
3.2	Capture d'écran de l'interface du CRDI à 2 dimensions. A l'aide de la souris, l'auditeur va déplacer le curseur dans l'espace émotionnel (<i>emotion space</i>), muni d'un axe de valence (<i>horizontal</i>) et d'un axe d'éveil (<i>arousal</i> , vertical). Les instructions sont présentées dans la partie <i>Instruction Box</i> , et les stimuli, lorsqu'ils sont visuels, dans la <i>Stimulus Box</i>	49
3.3	Exemple de courbes de Temps-Intensité du caractère sucré d'une bière par 13 sujets (d'après l'étude de Techakriengkrai et al. [TPP 04]).	50
3.4	Schéma d'une courbe squelette et paramètres sélectionnés - Chaque courbe TI est schématisée par un trapèze défini à partir de l'intensité maximale I_{max} et par les points correspondants à 5 et 90% de I_{max} sur les phases montante et descendante. Des paramètres secondaires sont calculés pour chaque phase (vitesse, durée,aire).	52
3.5	Profils de réponse à l'évaluation continue de la sonie d'un bruit de passages de voiture (en haut) et niveau sonore en dB(A) du stimuli évalué, d'après l'étude de Weber [WEB 91].	53
3.6	Procédure d'analyse des données en séries temporelles.	55
3.7	Maxima de jugements en continu de sonie de sons en fonction de la durée de la rampe de montée (croix). Les triangles représentent les valeurs minimales en début de rampe montante ($\wedge$) et en fin de rampe descendante ($\vee$). Seule l'augmentation de la valeur Max (croix) est statistiquement significative ($F(3, 14) = 14.6; p < 0.0001$). Figure issue de l'étude de Susini et al [SMS 05].	55
3.8	Réponse moyenne à l'évaluation continue de l'inconfort dans un bus, extrait de l'article de Parizet et al. [PHSK 03]. L'échelle utilisée est analogique catégorielle graduée de 0, <i>très confortable</i> à 1, <i>très inconfortable</i>	56
3.9	Profils de réponse à l'évaluation continue : original et modifiés avec décroissances exponentielles de 30 s, 3 min et 5 min.	58
4.1	Rugosité d'un son pur modulé à 100% ($m=1$) de fréquence f_c en fonction de la fréquence de modulation f_m (d'après Zwicker et Fastl [ZF 99]).	64
4.2	Les quatre types d'enveloppe temporelle : (t1) évènement court, (t2) évènement moyen, (t3) évènement long, (t4) évènement double.	64
4.3	Génération de la séquence sonore finale.	65

4.4	Diagrammes de sonie spécifique N' du son pur de 4 kHz modulé à 50 Hz, mixé au bruit de fond (à gauche) et du son pur de 8 kHz, mixé au bruit de fond (à droite). Abscisses en bark, ordonnées en soneGF/bark.	66
4.5	Diagramme de sonie spécifique N' du son pur de 1 kHz modulé à 70 Hz, mixé au bruit de fond). Abscisses en bark, ordonnées en soneGF/bark.	67
4.6	Auditeur évaluant le désagrément d'une séquence sonore jouée au casque au moyen du boîtier muni du curseur coulissant le long de l'échelle graduée.	69
4.7	Montage utilisé pour l'évaluation continue.	70
5.1	Scores moyens de désagrément des cinq types des sons évalués par la méthode du test de comparaison par paire avec intervalles de confiance à 95%.	72
5.2	Réponses aux questionnaire sur la difficulté (a) et la durée de la tâche à accomplir (b).	73
5.3	Distribution des coefficients de corrélation entre les réponses aux deux évaluations continues (panel de 32 auditeurs).	73
5.4	Quatre façons de répondre à l'évaluation continue du désagrément.	75
5.5	Scores moyens de désagrément des quatre types de son évalués par la méthode d'évaluation continue ($S1$, $S4$, $S8$ et BG), en amplitude absolue (histogrammes gris clair) et en amplitude relative (histogrammes gris foncé), avec leurs intervalles de confiance à 95%.	76
5.6	Scores moyens de désagrément des quatre types de son évalués par le test de comparaison par paires (histogrammes gris foncé) et par la méthode d'évaluation continue, en amplitude absolue (histogrammes gris clair) avec leurs intervalles de confiance à 95%.	77
5.7	Désagrément perçu pour les trois types de sons ($S1$, $S4$ et $S8$) et pour les trois types d'enveloppes temporelles simples ($t1$, $t2$ et $t3$).	78
5.8	Désagrément perçu pour les deux pics de l'évènement double $t4$ en fonction des trois types de son $S1$, $S4$ et $S8$	79
5.9	Définition des données temporelles : (a) temps de réaction et (b) temps de relaxation.	80
5.10	Temps de relaxation pour les trois types de sons ($S1$, $S4$ et $S8$) et les trois types d'enveloppes temporelles simples ($t1$, $t2$ et $t3$).	81
5.11	Temps de relaxation pour les deux pics de l'évènement double $t4$ en fonction des trois types de sons ($S1$, $S4$ et $S8$).	82
5.12	Temps de réaction pour les deux pics de l'évènement double $t4$ pour les trois types de sons ($S1$, $S4$ et $S8$).	83
6.1	MIDLUM 180-12 EURO 3 sur piste acoustique Renault Trucks.	89
6.2	Détails de la remorque : (a) porte latérale de la remorque et (b) hayon hydraulique à l'arrière.	89
6.3	Schéma protocole de mesure en statique.	90
6.4	Schéma protocole de mesure en dynamique.	90
8.1	Principe de codage, extrait du rapport [NS 05].	94
9.1	Nombre moyen normalisé d'unités verbales par micro-séquence : (a) nombre moyen normalisé d'unités verbales produites par auditeur et (b) nombre moyen normalisé relatif, i.e. nombre moyen par seconde.	100
9.2	Nombre moyen d'unités verbales par sources.	101
9.3	Nombre moyen normalisé d'unités verbales par sources pondéré par la durée de présence de la source dans la séquence.	101

9.4	Nombre moyen normalisé d'unités verbales par descripteurs pour l'ensemble des sources (histogrammes gris foncé), pour l'ensemble des sources hormis le moteur et le hayon (histogrammes gris clair). L'échelle de droite est en nombre moyen normalisé d'unités verbales, celle de gauche en fréquences relatives par rapport au nombre moyen normalisé total d'unités verbales.	102
9.5	Répartition moyenne des unités verbales par descripteurs pour l'étude de Parizet et al. [PGN 06].	103
9.6	Prédominance du descripteur <i>explicite</i> pour chaque source en présence.	104
9.7	Prédominance du descripteur <i>explicite</i> pour chaque micro-séquence et intervalle de confiance à 95%.	105
9.8	Prédominance du descripteur <i>gênant</i> pour chaque source sur l'ensemble de la séquence sonore et intervalle de confiance à 95%.	106
9.9	Prédominance du descripteur <i>gênant</i> pour chaque micro-séquence et intervalle de confiance à 95%.	107
9.10	Relation entre prédominance des descripteurs <i>gênant</i> et <i>explicite</i> pour les 28 micro-séquences.	108
9.11	Relation entre prédominance des descripteurs <i>gênant</i> et <i>fort</i> pour les 28 micro-séquences. . . .	109
9.12	Portraits verbaux de la source <i>moteur</i> associée à l'action <i>accélérer</i> (a) (MS27) et à l'action <i>démarrer</i> (b) (MS25).	111
9.13	Portraits verbaux de la source <i>hayon</i> associée aux actions <i>descendre</i> , <i>monter</i> et <i>taper</i> (toutes MS confondues).	112
9.14	Portrait verbal de la source <i>hayon</i> associée à l'action et <i>taper</i> (MS20).	112
10.1	Distribution des coefficients de corrélation entre les réponses aux deux évaluations continues (panel de 45 auditeurs).	114
10.2	Moyenne arithmétique (trait continu) et écart type (pointillés) des réponses des auditeurs à la première (<i>EC1</i>) et à la seconde (<i>EC2</i>) évaluation continue.	115
10.3	Temps de réaction en fonction de l'âge pour les sujets masculins (croix) et les sujets féminins (cercles).	117
10.4	Moyenne arithmétique recentrée (trait continu) et écart type (pointillés) des réponses des auditeurs à la première (<i>EC1</i>) et à la seconde (<i>EC2</i>) évaluation continue.	117
10.5	Classement des MS en fonction du désagrément exprimé lors de l'évaluation continue et intervalles de confiance à 95%. Les lignes horizontales représentent les différences non statistiquement significatives ($p \geq 0.05$) entre scores moyens de désagrément.	118
10.6	Relation entre désagrément maximum et sonie maximale (<i>N</i> en soneGF) pour les 28 micro-séquences.	120
10.7	Schéma des paramètres sélectionnés pour construire une courbe squelette modifiée - Chaque courbe est schématisée par un trapèze défini à partir des niveaux de désagrément maximal <i>max</i> , minimal avant l'évènement <i>min1</i> et minimal après l'évènement <i>min2</i> et par les points correspondants à 5% et 90% de <i>max - min1</i> sur la phase montante et de <i>max - min2</i> sur la phase descendante.	123
10.8	Courbes squelettes pour (a) la fermeture de porte chauffeur (<i>ms3</i> : 26 auditeurs ; <i>ms24</i> : 17 auditeurs), (b) l'ouverture de porte passager (<i>ms4</i> : 19 auditeurs ; <i>ms22</i> : 20 auditeurs) et (c) la fermeture de porte passager (<i>ms5</i> : 34 auditeurs ; <i>ms23</i> : 29 auditeurs).	125
11.1	Niveaux de pression acoustique en dB(A) pour la séquence de livraison en extérieur (<i>Ext</i> : courbe noire) et pour la séquence de livraison en intérieur (<i>Int</i> : courbe gris clair)).	130
12.1	Scores globaux de gêne pour les quatre séquences sonores de livraison et intervalles de confiance à 95%. Séquence en intérieur (<i>Int</i>) et en extérieur (<i>Ext</i>) et suivant l'ordre de présentation (1 ou 2).	132

12.2	Répartition des coefficients de corrélation pour les réponses à l'évaluation continue de la séquence en extérieur (a) et de la séquence en intérieur (b).	133
12.3	Moyennes arithmétiques des réponses des auditeurs : <i>Int2</i> en pointillés et <i>Ext2</i> en trait continu.	134
12.4	Scores de gêne par micro-séquence pour les deux types de séquences : (a) en intérieur et (b) en extérieur. Les histogrammes gris clair représentent les résultats de la première évaluation continue, ceux en gris foncé de la seconde. Les lignes horizontales entre deux histogrammes d'une même micro-séquence représentent une différence de niveau non significative ($p \geq 0.001$).	136
12.5	Classements des MS en fonction de la gêne exprimée lors des évaluations continues (a) séquence en intérieur (<i>Int2</i>) et (b) en extérieur (<i>Ext2</i>) et intervalles de confiance à 95%. Les lignes horizontales représentent les différences non statistiquement significatives ($p \geq 0.05$) entre scores moyens de gêne.	137
12.6	Comparaison des scores de gêne obtenus pour chaque auditeur par l'évaluation globale et la moyenne à l'évaluation continue (cercles blancs pour <i>Ext2</i> et losanges blancs pour <i>Int2</i>). Les scores moyens par type de séquence ainsi que leurs intervalles de confiance à 95% sont représentés symboles pleins (cercle pour <i>Ext2</i> et losange pour <i>Int2</i>). Les deux échelles correspondent à l'échelle analogique catégorielle de l'étude, allant de 0 : <i>pas du tout gênant</i> à 1 : <i>extrêmement gênant</i>	138
12.7	Comparaison des scores de gêne/désagrément obtenus respectivement lors de l'évaluation continue de <i>Ext2</i> et lors de l'évaluation continue de la précédente expérience <i>EC2</i> et intervalles de confiance à 95%.	139
13.1	Schéma du protocole d'enregistrement, phase d'accélération.	144
14.1	Scores globaux moyens de gêne pour les quatre séquences d'accélération et intervalles de confiance à 95%.	145
14.2	Réponses moyennes de gêne pour les quatre séquences d'accélération (trait continu) et intervalles de confiance à 95% (pointillés). Sur l'échelle des scores de gêne, 0 correspond à "pas du tout gênant" et 1 à "extrêmement gênant".	146
14.3	Réponses moyennes calculées à partir des courbes de réponse de type 1 et 2 pour les quatre séquences d'accélération (trait continu noir), intervalles de confiance à 95% (pointillés) et niveau de pression en dB(A) (trait continu gris). Pour chaque courbe, le nombre de réponses utilisées pour le calcul (nb rep) est précisé.	147
14.4	Deux exemples de cas pour lesquels le calcul du temps de réaction par la méthode de Kuwano et Namba [KN 85] ne fournit pas des résultats exploitables : (a) décalage de 0.01 s ; (b) décalage de 10 s. La réponse de l'auditeur (en noir) est représentée sans décalage par rapport à la courbe de niveau de pression en dB(A) (en gris).	148
14.5	Temps de réaction moyen pour chaque type de séquence.	149
14.6	Réponses moyennes calculées à partir des courbes de réponse de type 1 et 2 recentrées en fonction des temps de réaction individuels (trait continu noir), intervalles de confiance à 95% (pointillés) et niveau de pression en dB(A) (trait continu gris). Pour chaque courbe, le nombre de réponses utilisées pour le calcul (nb rep) est précisé.	150
14.7	Comparaison des scores de gêne obtenus pour l'évaluation globale et pour l'évaluation continue : maximum et moyenne des réponses à l'évaluation continue sont calculés pour chaque séquence. Les deux échelles correspondent à l'échelle analogique catégorielle de l'étude, allant de 0 : "pas du tout gênant" à 1 : "extrêmement gênant".	151
16.1	Répartition des coefficients de corrélation pour les réponses à l'évaluation continue de la séquence de livraison réduite.	157

16.2	Moyenne arithmétique des réponses individuelles à la seconde évaluation continue (<i>EC2_ch5</i> en trait continu) et intervalle de confiance à 95% (pointillés).	158
16.3	Réponses moyennes aux évaluations continues de la séquence sonore de livraison réduite : en noir, les réponses moyennes obtenues pour la présente étude (Partie V), en gris, les réponses obtenues pour l'étude des séquences de livraison en extérieur (Partie III). Les courbes en pointillés correspondent aux réponses à la première évaluation continue et celles en trait plein, aux réponses à la seconde évaluation.	159
16.4	Classements des huit extraits de la séquence sonore en fonction des scores de gêne issus des évaluations continues ($cont(i), i = [1 : 8]$), et intervalles de confiance à 95%. Les segments horizontaux relient les événements pour lesquels les différences ne sont pas statistiquement significatives ($p \geq 0.05$).	161
16.5	Classements des huit extraits de la séquence sonore en fonction de la gêne exprimée lors des jugements globaux ($glob(i), i = [1 : 8]$) et intervalles de confiance à 95%. Les segments horizontaux relient les événements pour lesquels les différences de gêne ne sont pas statistiquement significatives ($p \geq 0.05$).	162
16.6	Comparaison des scores de gêne obtenus pour le jugement global et pour l'évaluation continue des huit extraits sonores (cercles vides). Le cercle plein représente la moyenne arithmétique des scores à l'évaluation continue $moy(cont(i))$ en fonction du jugement global moyen seq_glob . Les deux échelles correspondent à l'échelle analogique catégorielle allant de 0 : <i>pas du tout gênant</i> à 1 : <i>extrêmement gênant</i>	163
16.7	Jugement global de la séquence de livraison seq_glob , moyenne arithmétique des réponses à l'évaluation continue des huit extraits sonore $moy(cont(i))$ et moyenne arithmétique des réponses individuelles à l'évaluation continue de la séquence sonore $moy(EC2_ch5)$, et intervalles de confiance à 95%. Le segment horizontal relie les valeurs pour lesquelles la différence n'est pas statistiquement significative ($p \geq 0.05$).	164
B.1	Copie d'écran de la feuille de consigne distribuée aux auditeurs.	183
B.2	Interface graphique du test de comparaison par paires. Le titre donne la consigne du test : "Quel est le son le plus désagréable ?". En utilisant la souris de l'ordinateur, le curseur peut être déplacé le long de l'échelle graduée à cinq catégories. Avant de valider sa réponse, le sujet est contraint d'écouter au moins une fois la paire de sons à évaluer.	184
C.1	Le véhicule arrive à vitesse stabilisée (40km/h), débute le freinage en A et s'arrête devant le mannequin. Puis le moteur est coupé.	187
C.2	(1) : le livreur ouvre la porte conducteur, descend de la cabine et ferme la porte. (2) : il contourne la cabine pour se diriger vers la porte passager. (3) : il ouvre et referme la porte passager. . . .	187
C.3	(1) : le livreur marche le long du véhicule et se poste devant la porte latérale de la remorque. (2) : il déverrouille la porte, puis il l'ouvre entièrement (déplacement sur la droite). Il fixe alors la porte à la paroi extérieure de la remorque. Après 5 secondes, il déverrouille la porte de la paroi et la referme.	188
C.4	Le livreur marche le long du camion et va se placer près de l'arrière. Il déverrouille la targette de sécurité du hayon puis, à l'aide du boîtier de commande situé sous la remorque, il actionne le hayon : (1) : ouverture du hayon et (2) : abaissement du hayon.	188
C.5	Après être monté sur la plateforme, le chauffeur récupère la télécommande et actionne le hayon : (1) : remontée du hayon. Une fois arrivé sur le plancher, il repose la télécommande et ouvre la partie haute de la porte (2).	188
C.6	Le livreur se déplace dans la remorque jusqu'au transpalette posé sur le sol. Il le met sur pied (1), l'amène sur le hayon (2) et redescend le hayon en utilisant la télécommande (3).	188

C.7	(1) : le livreur effectue sa livraison, ie promène le chariot à l'extérieur. (2) : il repose le transpalette sur le hayon et remonte. (3). Il fait rouler le chariot sur le sol de la remorque pour le déposer ensuite sur le sol((4).	189
C.8	(1) : le livreur ferme la partie haute du hayon, se poste sur la plate forme du hayon et redescend celui-ci à l'aide de la télécommande(2). Arrivé en bas, il déconnecte la télécommande pour utiliser le boîtier de commande du hayon situé à l'extérieur.	189
C.9	Le livreur redresse le hayon (1), puis le remonte (2) et essaie de le refermer(3). Mais le hayon a été trop remonté et ne se referme pas correctement : problème de manipulation.	189
C.10	Déblocage (1 et 2) et fermeture définitive du hayon (3) à l'aide du boîtier extérieur. Le livreur verrouille la targette de sécurité du hayon.	189
C.11	(1) : Le chauffeur retourne à l'avant du véhicule. (2) : il ouvre et ferme la portière passager. (3) : il contourne la cabine. (4) : il ouvre la portière chauffeur, monte dans le véhicule et referme la portière.	190
C.12	Le moteur est remis en marche. Une marche arrière en ligne droite est alors effectuée jusqu'au point A (1). Après quelques secondes au ralenti moteur, le véhicule part en accélération, passe devant le mannequin puis s'éloigne définitivement (2).	190
D.1	Page 1/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.	191
D.2	Page 2/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.	192
D.3	Page 3/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.	192
D.4	Page 4/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.	193
D.5	Page 5/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.	193
E.1	Portrait verbal de la source <i>chariot</i> (MS14).	194
E.2	Portrait verbal de la source <i>chariot</i> associée à l'action <i>taper</i> (MS11).	195
E.3	Portrait verbal de la source <i>porte</i> associée à l'environnement <i>cabine</i> et à l'action <i>fermer</i> (toutes MS confondues).	195
E.4	Portraits verbaux de la source <i>porte</i> associée à l'environnement <i>remorque</i> (MS6 :ouverture + manipulation et MS7 :fermeture).	196
E.5	Portrait verbal de la source <i>ressort</i> (toutes MS confondues).	196
G.1	Page 1/3 de la consigne distribuée aux auditeurs.	198
G.2	Pages 2/3 et 3/3 de la consigne distribuée aux auditeurs.	199
H.1	Page 1/4 de la consigne distribuée aux auditeurs.	200
H.2	Page 2/4 de la consigne distribuée aux auditeurs.	201
H.3	Page 3/4 de la consigne distribuée aux auditeurs.	201
H.4	Page 4/4 de la consigne distribuée aux auditeurs.	202

Liste des tableaux

4.1	Indicateurs perceptifs des sons construits pour l'étude : $S1$, $S4$, $S8$ correspondent au mixage bruit "son de base + bruit de fond" durant le plateau de l'évènement. BGm et BGM correspondent respectivement aux valeurs minimale et maximale du bruit de fond pendant une <i>unité sonore élémentaire</i>	67
5.1	Calculs de modèles de désagrément pour $S1$, $S4$, $S8$, BGm et BGM . R est le coefficient de corrélation entre valeurs du modèle et scores du test par paire.	72
5.2	Analyse de la variance du désagrément perçu pour les évènements simples. A : Auditeurs, TS : Type de son et ET : Enveloppe temporelle.	78
5.3	Analyse de la variance du temps de relaxation (évènements simples). A : Auditeurs, TS : Type de son et ET : Enveloppe temporelle.	81
5.4	Analyse de la variance du temps de relaxation (évènement double $t4$). A : Auditeurs, TS : Type de son et P : Pic (1er ou 2e).	82
5.5	Analyse de la variance du temps de réaction (évènement double $t4$). A : Auditeurs, TS : Type de son et P : Pic (1er ou 2e).	83
8.1	Situations observées.	94
8.2	Situations observées.	95
8.3	Liste des codes du champ <i>Descripteurs</i>	95
8.4	Tableau des micro-séquences (MS).	97
8.5	Modification du codage <i>index source</i> et <i>action</i>	97
9.1	Nombre d'unités verbales (UV) produites par auditeurs dans trois études : $VL1$ et $VL2$ pour la présente étude, [PGN 06] pour une étude sur le bruit de portières et [PAN 06] sur la perception du bruit intérieur de voiture.	98
9.2	Corrélations entre les descripteurs <i>fort</i> et <i>gênant</i> et les modèles de désagrément de Terhardt et Stoll ($TS1$ et $TS2$), d' <i>Unbiased Annoyance</i> diurne ($UBAd$) et nocturne ($UBAn$). La <i>Psychoacoustic Annoyance</i> (PA) ne peut être calculé car $S < 1.75acum$	109
10.1	Corrélations entre le désagrément évalué par l'évaluation continue et quatre métriques caractérisant le son : la sonie maximale ($Nmax$), la sonie moyenne N , l'acuité moyenne S et la rugosité moyenne R	119
10.2	Corrélations entre le désagrément évalué par l'évaluation continue et quatre modèles de désagrément : les modèles de désagrément de Terhardt et Stoll ($TS1$ et $TS2$, voir chapitre 2.2.3), d' <i>Unbiased Annoyance</i> diurne ($UBAd$) et nocturne ($UBAn$).	121
10.3	Classement des micro-séquences en fonction du désagrément relevé dans les réponses à l'évaluation continue (rang $EC2$) et extrait des verbalisations libres (rang $VL2$).	122
11.1	Valeurs de l'isolement acoustique normalisé, $DnAT$, par tiers d'octave.	130

12.1	Corrélations entre courbes de niveau sonore en dB(A) ($L(A)$), sonie (N) et réponses moyennes aux quatre évaluations continues.	134
12.2	Coefficients de corrélation entre réponses individuelles à l'évaluation continue (EC) et à l'évaluation globale (EG) pour l'ensemble des 4 sessions.	138
13.1	Quatre configurations d'enregistrements des accélérations du camion, en fonction du type d'accélération (AN/APP) et du type de boîte de vitesses (<i>auto/manu</i>).	144
14.1	Corrélations entre réponses moyennes aux 4 accélérations et niveau de pression en dB(A) ($L(A)$) et sonie (N).	148
14.2	Corrélation entre réponses moyennes recentrées et niveau de pression en dB(A) ($L(A)$).	149
15.1	Huit extraits sonores issus de la séquence sonore de livraison réduite. Durées en secondes.	155
16.1	Taux de réponses par intégration et composition des jurys des trois expériences d'évaluation continue de la séquence de livraison.	160
16.2	Comparaison des classifications d'événements sonores en fonction du désagrément et de la gêne évalués respectivement Partie II et Partie V.	161
C.1	Scénario détaillé de la séquence sonore de livraison.	186
F.1	Scénario de la séquence de livraison, découpage en micro-séquences (MS).	197

Introduction - Bibliographie

Le sujet de cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une problématique de réduction du bruit en milieu urbain : dans la vision de l'évolution du secteur des transports, une augmentation continue du transport routier de marchandises et du trafic urbain en particulier est prévue dans les prochaines années. Sans amélioration des véhicules, ce développement signifierait, dans l'état actuel, une augmentation des nuisances, et du bruit en particulier [GUA 98].

L'INSEE a publié une enquête intitulée "Mesure de qualité de la vie dans les grandes agglomérations" [MHR 02] dans laquelle le bruit arrive en tête des nuisances citées : il indispose plus de 54% des ménages interrogés lorsqu'ils sont chez eux, 28% le sont souvent et 26% de temps en temps. Parmi toutes les sources de pollution, le *Véhicule Industriel* reste largement celui qui procure le plus de nuisances sonores dans les faits, mais aussi dans l'inconscient collectif eu égard à sa puissance et à son encombrement.

La protection contre le bruit fait l'objet d'une série de directives européennes. C'est dans ce cadre de prévention et de réduction des sources de bruit que s'inscrit le PREDIT associant un laboratoire universitaire, le Laboratoire Vibrations Acoustique de l'INSA de Lyon, un industriel de la Région Rhône-Alpes, Renault Trucks et ses partenaires, Michelin et Marmonier. Renault Trucks, en tant que constructeur de véhicules industriels, mène une politique de développement qui tente de devancer les normes relatives aux bruits en mettant au point un véhicule prototype particulièrement silencieux. Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche intitulé "Véhicule à Usage Urbain" (V2U) engagé par Renault Trucks. Ce programme s'intéresse aux véhicules de moyen tonnage, seuls susceptibles d'être spécifiquement adaptés au milieu urbain. Ce projet de recherche propose donc de réaliser un véhicule démonstrateur ayant des caractéristiques acoustiques améliorées, d'intégrer toutes les conditions de fonctionnement du véhicule (roulage et livraison), de prendre en compte les aspects subjectifs de la perception sonore (acoustique qualitative) et d'évaluer les performances obtenues.

Les constructeurs ne peuvent à l'heure actuelle répondre seuls aux questions de la prise en compte de la globalité du problème, de l'intégration de dimensions nouvelles telles que la qualité sonore. L'apport du laboratoire, via la thèse, consiste donc à amener cet angle d'étude nouveau : le but est d'améliorer la perception du bruit d'un véhicule urbain de livraison. La problématique dépasse donc largement le cadre de la réglementation actuelle qui ne concerne que les niveaux de bruit. Ce projet veut aller au plus près de la perception du bruit par un auditeur afin d'amoindrir réellement la gêne créée par ces véhicules.

Le premier objectif de la thèse est donc d'identifier les principales sources de gêne pour un riverain lors de l'utilisation d'un véhicule urbain de livraison. Pour cela, il a été décidé d'effectuer une étude en laboratoire, moins lourde à mettre en œuvre qu'une enquête auprès des riverains, et dont les données sont maîtrisables et plus facilement reproductibles que lors d'une étude *in situ*. Les procédures d'évaluations subjectives en laboratoire sont bien codifiées pour les sons assez brefs (typiquement moins d'une trentaine de secondes). Toutefois ce n'est pas le cas pour des sons plus longs, instationnaires, qui correspondent pourtant aux situations les plus courantes. En l'occurrence, la durée moyenne des opérations de livraison est de 5 minutes environ. Des méthodes spécifiques d'évaluation ont été proposées afin d'évaluer la perception instantanée de tels sons. L'une d'elles est la méthode d'évaluation continue. Elle consiste à évaluer un paramètre perceptif tout au long de l'écoute de la séquence sonore. Une telle procédure, proposée par d'autres pour le jugement du niveau sonore, n'a que rarement été utilisée pour l'évaluation d'un caractère subjectif tel que le désagrément. Le second objectif de la thèse est donc d'évaluer la validité de l'utilisation de la méthode d'évaluation continue analogique catégorielle pour l'évaluation du désagrément de sons réels de longues durée.

Une des particularités de cette thèse est donc de se situer à la croisée de plusieurs domaines : les sciences humaines, psychologie de la perception, mais aussi les sciences mécaniques, physique de la production/propagation

du son.

La thèse s'articule en trois parties :

Une étude préliminaire a été menée afin de vérifier la validité de la méthode d'évaluation continue analogique catégorielle utilisée pour juger un caractère complexe : le désagrément. Pour cela, une séquence sonore longue a donc été synthétisée, avec des paramètres acoustiques connus et maîtrisés. Ainsi l'influence de l'enveloppe temporelle et du timbre des événements sur la réponse a pu être étudiée.

Une fois la méthode de test validée, elle a été appliquée au cas réel du véhicule de livraison de Renault Trucks. L'objectif de cette partie était double : il s'agissait, d'une part, de mettre en évidence les principales causes de désagrément lors de l'utilisation du camion en livraison, mais aussi, de valider l'application de la méthode d'évaluation continue à un cas réel, en confrontant les résultats obtenus à ceux de verbalisations libres. Deux autres applications ont ensuite été réalisées : la première s'intéressait à la perception d'une séquence de livraison telle qu'un riverain peut l'entendre chez lui et non plus à l'extérieur (comme lors de la 2ème partie). La deuxième se concentrait sur les bruits de boîte de vitesse (manuelle et automatique) lors de l'accélération du véhicule. Une campagne de mesures ainsi qu'un test perceptif ont été mis en place pour étudier cet événement sonore spécifique.

Dans une dernière partie, une expérience complémentaire a été menée pour mettre en évidence le lien entre évaluation continue et jugements globaux de la séquence de livraison.

Chapitre 1

Bruit des transports

Le bruit est considéré comme une nuisance environnementale majeure (43% des Français disent en souffrir¹) et comme la première atteinte à la qualité de vie. Les sources sonores sont multiples et variables : on distingue en général les bruits des transports (voitures, camions, deux roues, trains, avions) et les bruits de voisinage (activités récréatives, bruits de rue, aboiements...). Pour les Français interrogés, les transports, et en particulier les transports routiers, constituent la principale cause de gêne (60% des nuisances dénoncées par les ménages soumis aux nuisances quotidiennes).

Dans la perspective de l'évolution du secteur des transports, une continuelle augmentation du transport routier des marchandises², et du trafic urbain en particulier, est attendue. Sans amélioration des véhicules, ce développement signifierait, en l'état actuel, une augmentation des nuisances, dont le bruit. Les véhicules industriels restent largement ceux qui engendrent le plus de nuisances sonores.

La lutte contre le bruit passe d'abord par la limitation des niveaux d'émissions des principales sources, par l'adoption de dispositions adaptées d'urbanisme, de construction mais aussi par des études qualitatives pour améliorer la perception des sources de bruit.

1.1 La loi bruit et la législation en France

En 1984, un premier programme de lutte contre le bruit des transports terrestres a été mis en oeuvre par le Ministère de l'Équipement. Les efforts ont porté sur le rattrapage des "points noirs"³ situés sur le réseau national routier et ferroviaire.

Mais c'est la "loi bruit" du 31 décembre 1992 [L92 93] qui constitue le premier texte global en la matière. Elle concerne la limitation du bruit des infrastructures existantes et le classement sonore des infrastructures de transport terrestre. Elle constitue donc le cadre de référence pour la prévention des nuisances sonores. Le cadre réglementaire préexistant était dense⁴ et les manques dans des domaines non couverts ont été comblés par des dispositions spécifiques. C'est dans l'article 12 de cette loi qu'a été posé le principe d'une prise en compte des nuisances sonores dans la conception, l'étude et la réalisation des aménagements et infrastructures de transports terrestres. L'accent a été mis à la fois sur la prévention par l'introduction de mesures telles que la limitation du bruit des nouvelles infrastructures de transport terrestre (60 dB(A) le jour et 55 dB(A) la nuit,

¹Enquête du CREDOC Conditions de Vie et Aspirations des Français, 1989

²en 2005, 80% des transports intérieurs terrestres de marchandises sont effectués par la route [Com 05a]

³zone où le bruit atteint plus de 70 dB(A) en façade entre 8h et 20h et/ou 65 dB(A) la nuit

⁴les textes relatifs au bruit ont été l'objet d'un recueil de 655 pages publié par le Journal Officiel, auxquels il fallait ajouter les arrêtés préfectoraux et municipaux.

en zone d'ambiance sonore modérée) et l'obligation de doter les logements neufs d'une isolation acoustique adaptée.

C'est le décret n°95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres qui fixe, pour l'ensemble des modes de transports, la définition d'une modification ou transformation significative et le principe des indicateurs diurnes et nocturnes [Min 95]. Enfin, la circulaire du 12 juin 2001 fournit un cadre pour la politique gouvernementale de rattrapage des points noirs du bruit des réseaux routier et ferroviaire nationaux. Ce texte prévoit la mise en place d'observatoires du bruit des transports terrestres et l'élaboration de plans de résorption des points noirs du bruit issus des transports terrestres.

Les Plans de Déplacements Urbains (PDU) ont été instaurés par la loi d'orientation sur les transports intérieurs de 1982 [L82 82] (modifiée en 1997, 2000 puis 2005). Ces PDU définissent les principes de l'organisation des transports de personnes et de marchandises, de la circulation et du stationnement. Initialement facultatifs, ils ont été rendus obligatoires en 1996 pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie [L96 97].

1.2 Les Directives Européennes

La protection contre le bruit fait l'objet d'une série de directives européennes : les émissions de bruit sont définies pour tout véhicule se déplaçant à une vitesse de plus de 25 km/h (automobiles, motos, machines agricoles, appareils de chantier. . .). La directive 70/157/CEE du 6 février 1970 [Con 70] constitue le point de départ de la réglementation européenne sur le niveau de bruit admissible et les dispositifs d'échappement des véhicules à moteur. Pour les automobiles, la valeur limite du bruit, fixée initialement à 77 dB(A), a été abaissée à 74 dB(A) à partir de 1995-96, soit une réduction de moitié des émissions sonores. Pour les poids-lourds, la valeur limite fixée en novembre 1992 par la directive 92/97/CEE du 10 novembre 1992 s'élève à 80 dB(A) [Con 92].

La directive 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative au bruit ambiant [PC 02] fait suite aux recommandations sur la future politique du bruit émis dans le Livre vert [Eur 97]. Elle s'applique au bruit perçu par les populations des espaces bâtis : elle traite en particulier des bruits émis par les véhicules et les infrastructures routières et ferroviaires. . . Elle constitue les prémisses d'une approche commune en terme de méthodes de prévention et de réduction des effets nuisibles de l'exposition au bruit. A terme, cette loi permettra de définir, au moyen d'une cartographie du bruit, les zones calmes à protéger et les zones de bruit excessif à traiter prioritairement. Les cartes de bruit et les plans d'actions devront être élaborés d'ici à 2007/2008 pour toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants, pour les routes, les lignes de chemin de fer et à proximité des aéroports. La transposition en droit français a été engagée en 2004 et ratifiée par la loi du 26 octobre 2005 [L20 05].

1.2.1 Mesure réglementaire du niveau de bruit

C'est la directive 70/157/CEE [Con 70] qui fixe le protocole de mesure du niveau de bruit maximal autorisé pour les véhicules motorisés. Le son émis par les véhicules soumis aux normes européennes est mesuré à la fois pour le véhicule en mouvement et à l'arrêt.

Les enregistrements du véhicule en mouvement sont effectués en champ libre sur une piste acoustique normalisée (voir Figure 1.1). Les microphones sont placés de part et d'autre de la piste, à 7.5 m de l'axe, à une hauteur de 1.2 m. Le bruit ambiant doit être inférieur de 10 dB(A) au niveau de bruit produit par le véhicule. La mesure du véhicule en mouvement correspond à une accélération. Le véhicule approche de la ligne AA' à vitesse stabilisée (50 km/h pour les voitures ou au 3/4 de la vitesse pour laquelle le moteur développe sa puissance maximale pour les poids-lourds). Lorsque l'avant du véhicule atteint la ligne AA', le véhicule accélère au

maximum jusqu'à ce que l'arrière du véhicule atteigne la ligne BB' . L'accélération est alors relâchée. Le maximum de niveau de pression acoustique, exprimé en dB(A), est mesuré lorsque le véhicule est entre les lignes AA' et BB' . Chaque mesure doit être répétée trois fois et les différences de niveaux de mesures consécutives ne doivent pas être supérieures à 2 dB(A). Le niveau mesuré le plus élevé est pris comme résultat de la mesure.

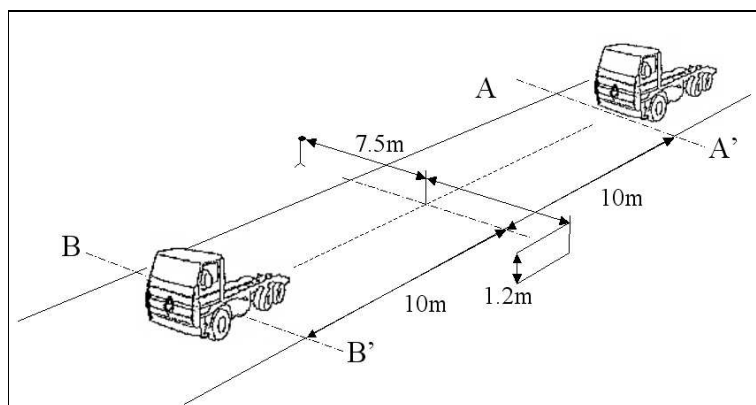


FIG. 1.1 – Protocole de mesure réglementaire de niveau de pression pour un véhicule en mouvement 1.1.

Les mesures à l'arrêt sont réalisées sur le même type de piste. Le microphone est placé au niveau de la sortie de l'échappement. La vitesse du moteur est déterminée au moyen d'un tachymètre : la vitesse du moteur doit être stabilisée au 3/4 de la vitesse pour laquelle le moteur développe le maximum de puissance. Quand cette vitesse constante est atteinte, la commande d'accélération doit être relâchée le plus rapidement possible pour revenir au ralenti moteur. Le niveau sonore est mesuré pendant toute l'opération, depuis la phase en vitesse stabilisée jusqu'à la fin de la décélération. Le niveau maximum mesuré est retenu comme résultat du test. Chaque mesure est répétée trois fois et les différences de niveaux de mesures consécutives ne doivent pas être supérieures à 2 dB(A). Le niveau mesuré le plus élevé entre les trois mesures est pris comme résultat du test.

Les mesures effectuées selon le protocole fixé par la directive 70/157/CEE [Con 70] portent uniquement sur la mesure de niveaux sonores en dB(A), dans des conditions éloignées des conditions réelles d'utilisation des véhicules. Ce type d'enregistrement ne permet donc pas de mesurer la gêne sonore perçue par les riverains.

1.3 Le transport de marchandises en ville en chiffres

L'augmentation du volume des transports de marchandises en ville (TMV) est une réalité incontournable : le TMV est "à l'origine de 30% du bilan énergétique des transports urbains et occupe 20% des voiries de nos cités." [Com 05b]. En France, plus de 1.5 million de véhicules utilitaires légers assurent quotidiennement livraisons et enlèvements en ville.

Or l'impact environnemental du TMV n'en est pas moins une réalité : consommation d'énergie (sur la période 1992-1996, les poids lourds absorbaient 46% de la consommation totale de carburant routier en Ile-de-France), pollution atmosphérique (la part de responsabilité des poids lourds varie, selon les polluants, de 5 à 70%), sécurité routière (l'implication des poids-lourds dans les accidents de la circulation urbaine était de 4% en Ile-de-France et de 15% dans les accidents mortels) et bruit. La contribution du TMV à l'augmentation du bruit en ville est importante : les niveaux sonores peuvent être accrus de 4 dB(A) par rapport à un trafic routier ne comportant que des véhicules légers [ROU 02].

Les transports de marchandises ont leurs rythmes propres par rapport aux déplacements des personnes.

Calées sur les horaires d'ouverture des établissements desservis, les périodes de pointe se situent (pour les enlèvements et les livraisons) de 9 h à 11 h et de 15 h à 17 h. Mais certains approvisionnements débutent bien avant 5 h tandis que de plus en plus de livraisons de nuit sont mises en place : décaler les livraisons en fin de nuit permet de profiter d'une voirie dégagée, mais pose alors le problème de gêne sonore pour les riverains.

1.4 Le projet Low-noise Urban Truck

Le projet "LUT" (Low-noise Urban Trucks) est un projet de recherche développement qui s'organise autour d'un partenariat entre industriels (Renault Trucks, Michelin et Marmonnier) et un laboratoire de recherche universitaire (le Laboratoire Vibrations Acoustique de l'INSA de Lyon). Il s'inscrit dans le cadre du programme "V2U" (Véhicule à Usage Urbain) que Renault Trucks a engagé dans le but d'anticiper la réglementation acoustique à venir. L'objectif du projet LUT est d'anticiper les attentes et les besoins futurs dans le domaine du bruit des transports urbains par camion. Ce programme s'intéresse aux véhicules de moyen tonnage, seuls susceptibles d'être adaptés aux conditions de livraison en milieu urbain. La base de travail est la gamme MIDLUM, dans sa composante PTAC⁵ de 7.5 t à 12 t, équipée d'un moteur diesel 4 cylindres. Ce modèle est particulièrement adapté aux conditions urbaines (accessibilité, charge utile...).

Afin de répondre aux attentes citoyennes en matière de réduction de la gêne occasionnée par la circulation de véhicules de livraison en ville, le projet LUT se propose de réduire les émissions sonores du véhicule à usage urbain mais aussi d'améliorer la qualité du son perçu par les riverains, l'objectif étant d'aller au delà de la réglementation acoustique limitant le bruit extérieur des poids-lourds. L'objectif est double : réduire les émissions du véhicule et améliorer la qualité perçue par les riverains. C'est ce dernier volet qui confère au projet son caractère innovant, l'aspect qualitatif n'ayant jusqu'à présent été pris en compte qu'à travers la notion de nuisances sonores pour les riverains.

Une étude perceptive du véhicule actuellement commercialisé a donc été effectuée afin d'identifier précisément les événements sonores perçus comme désagréables lors de l'utilisation du véhicule (en phase dynamique, roulage, et en phase statique, livraison). En effet, il est possible que ces événements sonores ne soient pas pris en compte dans la mesure normalisée du bruit extérieur de véhicule. Parallèlement, dans l'optique de réduire les émissions sonores, un véhicule démonstrateur aux caractéristiques acoustiques améliorées a été réalisé par les partenaires industriels.

⁵PTAC : Point Total Autorisé en Charge

Chapitre 2

La gêne et le désagrément perçus

Le bruit revêt plusieurs fonctions : il peut informer, rassurer, distraire et, dans ces cas, il est toléré voire recherché. Mais il peut aussi prendre une autre dimension qui va de la simple gêne à la souffrance physique et psychologique, notamment quand il est subi. Les études sur les effets du bruit sur la santé sont nombreuses : citons le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé [BB 00], celui de Mouret et Vallet [MV 95] pour le Ministère des Affaires Sociales de la Santé et de la Ville, ainsi que la synthèse de Berglund et Hassmen [BH 96].

Six points importants sont couramment mentionnés dans les études sur l'impact du bruit sur la santé : les effets sur le système auditif, les effets sur les systèmes non auditifs¹, le stress, les troubles du sommeil, le bruit sur le lieu de travail², les effets sur la santé des enfants, et de façon moins pathologique, la gêne due au bruit.

2.1 Bruit, gêne et désagrément

2.1.1 Le bruit, la bruyance

L'AFNOR (Association Française de NORmalisation) définit le bruit comme "toute sensation désagréable ou gênante, tout phénomène acoustique produisant cette sensation, tout son ayant un caractère aléatoire qui n'a pas de composante définie"³. Dans la directive européenne 2002/49/CE [PC 02], le "bruit dans l'environnement" est défini comme "le son extérieur non désiré ou nuisible résultant d'activités humaines, y compris le bruit émis par les moyens de transports, le trafic routier, ferroviaire ou aérien et provenant de sites d'activité industrielle."

Pour définir l'aspect bruyant ou bruité du son, aussi appelé bruyance (*noisiness*), on peut se baser sur la définition proposée par Berglund et al. [BBL 75]. L'exemple donné par les auteurs pour illustrer ce concept est celui du son d'un marteau piqueur qui, à sonie égale, peut paraître plus ou moins bruyant qu'un son provenant d'une moto. De même, la musique peut être forte mais perçue comme peu ou pas bruyante.

2.1.2 La gêne

L'Organisation Mondiale de la Santé considère que l'exposition au bruit peut entraîner une gêne définie de façon large comme "une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement dont l'individu ou le groupe connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé". Dans les textes de lois européens, elle est simplement définie comme "le degré de nuisance généré par le bruit dans l'environnement,

¹cardio-vasculaire, respiratoire, digestif, endocrinien, hormonal et même visuel, voir [MFPav 05]

²Mouret et Vallet [MV 95] citent des effets sur la productivité, la sécurité, les performances intellectuelles, l'attention et la vigilance

³Définition AFNOR NF 53O-105, terme 05 25 005.

déterminé par des enquêtes sur le terrain" [PC 02]

La notion de gêne (*annoyance*) est donc plus associée à l'évaluation du bruit dans un contexte donné que simplement basée sur les aspects perceptifs de la qualité (noisiness) et de l'intensité (loudness) [BBL 75]. Lindvall et Radford [LR 73] définissent la gêne comme étant "le sentiment de déplaisir associé à tout agent ou condition perçue comme ayant un effet négatif sur un individu ou un groupe"⁴. Berglund et al [BBL 75] réduisent cette définition en ajoutant à l'aspect nuisible du bruit le fait que cet aspect soit lié à une situation imaginaire donnée. Dans une étude sur l'exposition aux bruits d'avion [BBL 75], l'auditeur était mis en condition : "Après une dure journée de travail, vous êtes confortablement installé dans votre fauteuil avec l'intention de lire tranquillement le journal." La mise en situation effectuée, il est demandé à l'auditeur d'évaluer la gêne ressentie lors de l'exposition aux stimuli sonores. Guski et Bosshart [GB 92] mirent en évidence que la gêne obtenue dans les études en laboratoire est fortement liée aux jugements de sonie. Pour les études in situ, elle est plus reliée à une image cognitive de la source sonore mais aussi à l'évitabilité et à la capacité de dérangement de l'évènement sonore en cause.

Notons que Zwicker [ZWI 91], trouvant le terme de gêne (*annoyance*) trop large, préféra définir le terme spécifique de *Unbiased Annoyance*, gêne non biaisée. Ce terme peut être employé lorsque les trois conditions suivantes sont réunies :

1. Le sujet n'a pas de relation avec le son produisant la gêne. De précédentes études [TER 84, ZWI 87] ont montré que, pour un même son, la gêne perçue par les auditeurs dépend de leur relation à la source sonore : pour un motard, le bruit produit lors de l'accélération du véhicule sera plaisant. Pour une mère et son enfant de l'autre côté de la rue, ce même bruit sera perçu comme gênant. Même s'il n'est pas possible d'obtenir une réponse absolument non biaisée par la relation source-auditeur, l'influence de celle-ci peut être réduite lors d'expérience en laboratoire.
2. La gêne est exclusivement produite par des sons. Toute interaction sensorielle d'un autre type doit être évitée.
3. Les conditions aux limites des mesures (type de champ, fonction temporelle et fréquentielle des stimuli sonores, activité du sujet) sont descriptibles et reproductibles. Les conditions de l'expérience lors de laquelle la gêne non biaisée est mesurée doivent être proches de celles de la vie de tous les jours.

Le modèle de calcul d'*Unbiased Annoyance* défini par Zwicker [ZWI 91] est présenté en détail au paragraphe 2.2.3.

2.1.3 Le désagrément

La différence entre gêne et désagrément, leur sens précis dépend du langage employé [GUS 97]. De façon générale le terme de désagrément (*unpleasantness*) fait référence à une évaluation instantanée d'une situation (qui peut être un stimuli sonore) alors que le terme de gêne (*annoyance*) s'apparente à un concept plus large, lié à la fois à une situation ayant un sens et à un domaine temporel de référence. En anglais, le terme *annoyance* fait référence à la fois à la notion d'*unpleasantness* mais aussi à un certain degré de dérangement [KOE 87]. En allemand, le terme *Lästigkeit* fait avant tout référence à une attitude d'évaluation de la source sonore ainsi que l'évaluation d'une certaine nécessité du son : plus un son est estimé comme évitable, plus il est jugé gênant [BOS 88].

Paulsen [PAU 97] s'intéressa à l'influence de la durée des stimuli sonores sur les jugements de sonie (*loudness*), gêne (*annoyance*), dérangement (*disturbance*) et désagrément (*unpleasantness*) en laboratoire. Deux types de bruits (un bruit blanc et un bruit autoroutier), de durée variable (1 s, 20 s, 50 s et 80 s) furent déclinés en

⁴"...a feeling of displeasure associated with any agent or condition believed to affect adversely an individual or a group"

différents niveaux sonores (de 57 à 80 dB(A)). Il apparaît que les jugements de gêne, dérangement et désagrément pour différents niveaux sonores ne sont pas significativement différents. Dans une étude menée avec des auditeurs *experts*⁵ pour définir plus précisément le concept de gêne (*noise annoyance*), Guski et al. [GFSS 99] ont mis en évidence que les termes de nuisance (*nuisance*) et de désagrément (*unpleasantness*) sont les plus proches (parmi toute une liste) et qu'il n'y a pas de variable pour laquelle les experts s'accordent à dire qu'elle est la plus similaire au concept de gêne.

Pour des études en laboratoire, Ellermeier et al. [EEZ 01, EMD 04] choisirent de faire évaluer le désagrément (*unpleasantness*) plutôt que la gêne (*annoyance*) aux auditeurs : le concept de gêne est souvent utilisé en référence aux interférences avec d'autres tâches à réaliser [GUS 97]. Dans ces études, l'attention de l'auditeur reste essentiellement focalisée sur les stimuli à évaluer, sans tâche supplémentaire à effectuer.

Le choix de l'emploi du terme de désagrément ou de gêne dans les études dépend donc de la source sonore (bruit blanc ou rose, bruits d'objets réels), de la relation entre la source sonore et l'auditeur, du contexte (situation donnée, tâche à effectuer) et du cadre de l'étude (in situ ou en laboratoire). La langue employée sera encore un facteur prépondérant [GUS 97]. En français, dans le langage courant, la frontière entre les deux termes reste ténue : "gêne : subst.fem. [...] 2. Situation embarrassante, *désagréable*, imposant une contrainte à quelqu'un" (extrait du Petit Robert, Édition 2005). De même, dans les dictionnaires de synonymes de langue française, "gênant" et "désagréable" sont synonymes l'un de l'autre. Il semble que ce soit aussi le cas en anglais : "unpleasant : adj. [...] 2. Very unpleasant or *annoying*" (extrait du dictionnaire Ultralingua⁶).

2.1.4 Un concept multicritère

La gêne sonore est un concept qui va dépendre de plusieurs facteurs acoustiques et non acoustiques. Du point de vue acoustique, c'est essentiellement les facteurs physiques liés à la source sonore qui vont influencer les jugements de gêne : l'énergie acoustique, le nombre d'événements, la durée des moments de calme, mais aussi la régularité des événements, le maximum de niveaux sonores, les temps de montée des événements [GUS 98], les fluctuations de fortes amplitudes [NKK 96], l'émergence d'événements occasionnels [HLKT 96], la tonalité [BP 96, KWLJ 98, MRF 04], la présence de bruit de fond. . .

Les facteurs non acoustiques peuvent être classés en trois catégories. Les facteurs d'attitude font référence à la relation que l'auditeur peut entretenir avec le bruit ou avec sa source (attitude de peur lorsque le son évoque un danger, sensibilité au bruit, perception globale de l'environnement. . .). Les facteurs sociodémographiques (genre, âge, situation maritale, taille de l'habitation, niveau d'éducation, statut social. . .) et ceux de situation (isolation acoustique, temps passé au domicile, nationalité. . .) peuvent aussi influencer la perception de la gêne. Mais il semble que la signification du son soit un des facteurs non acoustiques principaux.

2.1.5 De l'effet de la signification d'un son sur son évaluation

Dans une étude sur l'effet de la signification d'un son sur les jugements de sonie [HFK 02], les auteurs mirent en évidence que la signification d'un son n'avait pas d'influence significative sur l'évaluation de la sonie lorsque le niveau sonore perçu était fort et très fort. Par contre à des niveaux moindres (en dessous de 70 dB), la signification du son peut augmenter le jugement de sonie. Le contexte joue donc un rôle dans l'évaluation de la sonie. La conclusion des auteurs est que la reconnaissance des sources sonores accentue l'attention sur les sons en les dissociant du bruit de fond : les sons sont perçus comme plus forts. Ellermeier et al. [EZF 04]

⁵Guski et al. [GFSS 99] classent les auditeurs experts en deux catégories : les résidents affectés par le bruit au quotidien et les scientifiques qui étudient ces mêmes bruits et leurs effets

⁶<http://www.ultralingua.com/onlinedictionary>

se sont intéressés à la prédiction de la gêne de sons réels et de leur équivalents "neutralisés" par la méthode proposée par Fastl [FAS 01]. Les sons réels sont moins bien prédits par les métriques psychoacoustiques. Les auteurs suggèrent que la différence est due à des facteurs non acoustiques, c'est à dire à la signification du son. Cette conclusion s'appuie sur des résultats similaires obtenus par Zeitler et al. [ZEF 04].

2.2 Attributs auditifs du son et modèles de désagrément

Les études sur la gêne, ou les effets du bruit en général, tentent de mettre en relation le son et son impact. Pour cela, les chercheurs ont mis au point de nombreux indicateurs pour quantifier le son. La section suivante présente les plus couramment utilisés.

2.2.1 Les descripteurs physiques

A partir des propriétés physiques qui définissent le son (niveau de pression acoustique, fréquence et durée), des indicateurs physiques sont construits pour quantifier le son et le relier à son impact.

Le **niveau de pression sonore** correspond à la grandeur de pression acoustique efficace en décibels (dB SPL) :

$$L = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_{eff}^2}{p_0^2} \right) \quad (2.1)$$

avec $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, pression acoustique de référence. Elle correspond au seuil d'audibilité d'un son pur de fréquence 1000 Hz.

Le **niveau de pression sonore pondéré A**, L_A a été créé pour prendre en compte le fait que l'oreille humaine n'a pas la même sensibilité en fonction de la fréquence : les niveaux de pression sont pondérés dans chaque bande de fréquences, favorisant la zone des 1000 Hz à 5000 Hz et atténuant les basses fréquences. C'est, à l'heure actuelle, un des indicateurs les plus utilisés dans la réglementation acoustique. La valeur maximum du niveau sonore en dB(A) est souvent utilisée dans les études concernant le bruit de passage de véhicule [PITO 98], le bruit d'avion [KWLJ 98] ou le bruit en milieu industriel [BRÜ 99]. Cependant, pour un grand nombre de sons, cet indicateur sous-estime l'influence des composantes basses fréquences.

Le **niveau de pression équivalent** L_{eq} (*equivalent sound pressure level*) correspond à la moyenne du niveau entre deux instants t_1 et t_2 ou pendant une durée T . Il est défini par :

$$L_{eq,t_1,t_2} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right) \quad (2.2)$$

où L est le niveau de pression, t_1 et t_2 les bornes de l'intervalle de mesure.

Ce niveau peut être utilisé avec la pondération A, en remplaçant la pression acoustique L par la pression acoustique pondérée L_A . On note alors $L_{Aeq,T}$ [Int 03]. Cet indicateur est utilisé dans de nombreux pays comme standard. Plusieurs textes de lois concernant en particulier le bruit des transports [Eur 97] utilisent cet indicateur. Il est aussi très souvent employé dans les études portant sur le bruit des transports, l'environnement sonore urbain, l'environnement sonore industriel, les infrastructures aériennes, ferroviaires et routières [MFPV 05]. De précédentes études [ML 90, VAL 90] ont montré une bonne corrélation entre $L_{Aeq,T}$ et gêne ressentie par les riverains. Cependant cet indicateur n'est pas adapté pour l'évaluation des sons intermittents ou à caractère impulsionnel.

Pour évaluer le niveau de bruit en période nocturne, le **niveau de bruit équivalent jour/nuît** L_{DN} (*day/night equivalent sound level*), exprimé en dB(A) a été mis au point :

$$L_{DN} = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{24} \left[15 \int_7^{22} 10^{L_A/10} dt + 9 \int_{22}^7 10^{(L_A+10)/10} dt \right] \quad (2.3)$$

Il s'agit d'une moyenne du $L_{Aeq,T}$ sur 24 h avec une pénalité de 10 dB(A) pour la période nocturne (22 h à 7 h). Cet indicateur présente deux inconvénients : d'abord, la pénalité de 10 dB(A) n'est pas une valeur provenant de mesure mais plus d'une intuition [MFPAV 05]. La valeur nocturne n'est donc pas au mieux représentée. D'autre part, cet indicateur n'est pas adapté aux sons impulsionnels.

Un autre indicateur est le **day-evening-night level** L_{DEN} , qui prend en compte une pénalité de 5 dB(A) pour la période de 19 h-22 h. Il est à présent largement utilisé dans les pays de la Communauté Européenne [PC 02].

2.2.2 Les indicateurs perceptifs

Les propriétés physiques qui définissent un son (niveau de pression acoustique, fréquence et durée) ne suffisent pas à décrire ou expliquer la perception de celui-ci. C'est la raison pour laquelle les psychoacousticiens (en particulier Zwicker et Fastl) ont cherché de nouveaux descripteurs pour définir certaines propriétés du son : la sonie, l'acuité, la rugosité, la force de fluctuation et la tonalité en sont des exemples.

La sonie

A la mesure physique qu'est le niveau acoustique, correspond une sensation auditive, la sonie (*loudness* en anglais). Il s'agit du niveau sonore perçu. Cette sensation peut suffire à expliquer en grande partie la gêne ou le désagrément [BBL 76, ZWI 87, PMM 96, MM 98, HB 99, HFK 04]. De nombreuses études sur les bruits dus à des objets industriels ou au trafic (routier, aérien, ferroviaire) portent sur l'évaluation de la sonie [FKN 96, ZF 99, HKZ⁺ 01].

La sonie se définit comme l'intensité du son telle qu'elle est perçue. L'échelle sensorielle des sones a d'abord été établie à partir de méthodes de mesure directes [STE 56] : à chaque son présenté, les auditeurs devaient choisir des nombres proportionnels à leur sensation de sonie. L'unité de sonie est le *sone* : 1 sone correspond à la sonie d'un son pur de 1 kHz à 40 dB SPL. Un son de deux sone sera perçu comme deux fois plus fort qu'un son de 1 sone.

Pour le calcul de la sonie de sons stationnaires, deux méthodes font référence. La première est celle de Zwicker [ZWI 58]. Elle prend en compte la répartition de l'énergie en fonction des bandes critiques mais aussi les effets de masquage. La procédure de calcul de sonie par ce modèle est très souvent utilisée car elle fait l'objet d'une norme (DIN 45 631 et ISO 532B [Int 75]). Le modèle de Moore et al. [MGB 97] reprend celui de Zwicker [ZWI 58] mais comporte des différences pour le mode de calcul des filtres, les corrections de champ et le mode de calcul de l'excitation.

La plupart des études perceptives portent sur des sons non stationnaires et les modèles de sonie pour ce type de sons sont assez récents : Zwicker et Fastl [ZF 99], d'une part et Glasberg et Moore [GM 02], d'autre part, mirent au point des indicateurs statistiques pour approximer la sonie globale. Le modèle de Zwicker et Fastl [ZF 99] reprend le principe de base du modèle pour les sons stationnaires [ZWI 58]. Il prend en compte le masquage temporel et calcule la sonie en fonction du temps. Ce modèle fournit bien une sonie en fonction du temps mais ne permet pas d'obtenir la sonie globale de sons non stationnaires. C'est donc le calcul des indices statistiques de sonie partielle (*percentile loudness*) N_{10} [PITO 98], N_5 [HEL 96, WEB 96] ou N_4 (représentant

la valeur de la sonie qui excèdent respectivement 10, 5 et 4% du temps de mesure total) qui est préconisé pour estimer la sonie globale d'un son non stationnaire. Ces indicateurs sont souvent utilisés dans les études concernant les bruits environnementaux [BBL 75, BBL 76, KNM 89, SF 99].

Le modèle de Glasberg et Moore [GM 02] reprend le modèle mis au point pour les sons stationnaires [GM 02], mais en utilisant un filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR). La sonie à court terme représente la sonie perçue à chaque instant. Pour obtenir une estimation de la sonie globale, deux indicateurs peuvent être calculés à partir de la sonie à court terme : le maximum de la sonie à court terme STL_{max} et la sonie à long terme LTL_{max} , calculée en utilisant une sorte d'intégration temporelle. Ce modèle est à la base d'un nouveau standard : ANSI S3.4-2005 [Ame 05].

Boulet [BOU 04] a montré que les modèles de sonie actuels estiment assez bien la sonie de sons stationnaires de l'environnement. Par contre, en ce qui concerne les sons non stationnaires, les modèles ne permettent pas d'estimer correctement la sonie globale : les deux estimateurs testés, N_4 et STL_{max} , surestiment la sonie pour des niveaux élevés et la sous-estiment pour des niveaux faibles. Pour les sons impulsionnels, il semble que le modèle le mieux adapté soit le modèle de Zwicker et Fastl [ZF 99].

A noter que, dans certaines études sur la caractère désagréable du son ou la gêne occasionnée, les auteurs préfèrent employer directement la sonie en temps qu'attribut à évaluer : le terme "fort" (*loud*) est couramment employé dans la vie quotidienne non seulement pour parler de la sensation du niveau de sonie d'un son, mais aussi pour exprimer l'effet négatif de ce son. Par exemple, Weber [WEB 91] considère que la sonie peut-être utilisée comme un synonyme de la gêne (*annoyance*) puisque la question du niveau sonore est souvent liée, pour les auditeurs, à la gêne. D'autre part, la sonie en temps qu'indicateur permet une meilleure prédiction que le niveau acoustique, en situation réelle comme en laboratoire.

Le centre de gravité spectral et l'acuité

Le centre de gravité spectral, CGS , est la répartition d'énergie en fonction du contenu fréquentiel d'un son :

$$CGS = \frac{\sum_{i=1}^N f(i) \cdot L(i)}{\sum_{i=1}^N L(i)} \quad (2.4)$$

avec $L(i)$ niveau de pression en dB(A), dB(B) ou dB(C) et $f(i) = \frac{i \cdot f_e}{2N}$ où f_e est la fréquence d'échantillonnage et N le nombre de points du spectre de fréquence. Ce paramètre physique peut, dans certains cas, permettre de décrire la brillance d'un son [KC 96, SCH 04].

L'acuité est un indicateur de l'équilibre entre les hautes et les basses fréquences : plus un signal contiendra de hautes fréquences, plus la valeur de l'acuité sera importante. Elle est l'équivalent auditif du Centre de Gravité Spectral mais est supposée être un meilleur descripteur de la brillance du son. La valeur de référence de 1 *acum* est obtenue pour un son en bande étroite, centré sur 1 kHz, d'un niveau sonore de 60 dB SPL.

Von Bismarck [VB 74a] puis Zwicker et Fastl [ZF 99] proposèrent un modèle d'acuité reposant sur la répartition de la sonie spécifique N' sur l'échelle de sonie. L'acuité est un barycentre pondéré par une fonction $g(z)$ du spectre en bandes critiques :

$$S = 0.11 \cdot \frac{\int_0^{24bark} N' \cdot g(z) \cdot z \cdot dz}{\int_0^{24bark} N' \cdot dz} \quad (2.5)$$

avec pour fonction de pondération dépendant des bandes critiques :

$$g(z) = \begin{cases} 1 & \text{pour } z < 14Bark \\ 0.00012 \cdot z^4 - 0.0056 \cdot z^3 + 0.1 \cdot z^2 - 0.81 \cdot z + 3.51 & \text{pour } z \geq 14Bark \end{cases}$$

Mais ces modèles de calcul de l'acuité ne permettent pas de prendre en compte l'influence de la sonie totale N : lorsque la sonie augmente, l'acuité augmente très peu. Aures [AUR 85a] a proposé un modèle qui prend en compte l'influence de la sonie sur l'acuité :

$$S = 0.08 \cdot \frac{\int_0^{24Bark} N' \cdot g'(z) \cdot z \cdot dz}{g_N \cdot dz} \quad (2.6)$$

avec $g'(z) = e^{0.171 \cdot z}$ et $g_N = \ln\left(\frac{N}{20} + 1\right)$ est adimensionnelle.

Cette relation fait apparaître la dépendance de l'acuité à la sonie globale.

La force de fluctuation et la rugosité

D'autres descripteurs s'intéressent à la nature non stationnaire que les bruits usuels peuvent avoir. Pour des sons modulés en amplitude, en fonction de la fréquence de modulation, la perception du son ne va pas être la même : pour des fréquences de modulation basses (en dessous de 20 Hz), la sensation est celle d'une variation de niveau sonore. Pour des fréquences de modulation supérieures, le bruit a un niveau subjectif constant mais un caractère "rugueux" apparaît. Terhardt [TER 74] a ainsi défini deux descripteurs :

- la force de fluctuation (*fluctuation strength*) pour les très basses fréquences. Elle est notée F et s'exprime en vacil. 1 *vacil* est obtenu pour un son pur de 1 kHz de 60 dB SPL modulé à 100% en amplitude à une fréquence de modulation de 4 Hz.
- la rugosité (*roughness*) au delà de 20 Hz. On la note R et son unité est l'asper : 1 asper correspond à un son pur de 1 kHz de 60 dB SPL modulé à 100% en amplitude à une fréquence de modulation de 70 Hz.

Les modèles de calcul de la rugosité les plus couramment employés sont ceux définis par Aures [AUR 85c], Zwicker et Fastl [ZF 99] et Daniel et Weber [DW 97]. Ces modèles s'appliquent à des bruits large bande modulés en amplitude ou des sons purs modulés en amplitude et en fréquence.

La force de fluctuation et la rugosité d'un son sont souvent évoquées en temps que facteurs influents sur la gêne [HH 94, DW 94].

La tonalité

La tonalité (*tonality*) est la caractéristique physique du son qui permet de mesurer la hauteur tonale d'un son (*pitch strength*). Elle est définie par la présence plus ou moins importante de composantes tonales par rapport à un bruit de fond large bande. Si le niveau sonore du bruit de fond augmente alors la hauteur tonale diminue. On prend comme référence, un son pur de 1 kHz à 60 dB SPL qui aura une tonalité de 100%. La tonalité va généralement augmenter l'impression de désagrément d'un son [KLE 04].

Le calcul de l'amplitude des composantes tonales est sujet à discussion et il n'existe pas de modèle standard. On peut citer l'algorithme développé par Terhardt et al. [TSS 82] ou les indicateurs *Tone-to-Noise Ratio* (TNR) et le *Prominence Ratio* (PR). Le TNR est le rapport entre la puissance d'une émergence tonale et la puissance de la bande critique centrée sur cette émergence. Les effets de masquage dus à des composantes hors de la bande critique ne sont pas pris en compte. Le PR est le rapport entre la puissance de la bande critique centrée sur l'émergence tonale et la puissance moyenne des deux bandes critiques adjacentes.

2.2.3 Les modèles de désagrément

L'évaluation de la qualité sonore est une des préoccupations des industriels lors du développement d'objets de consommation. Les besoins d'indicateurs reproductibles en laboratoires ont motivé la recherche et le développement de nouveaux modèles de désagrément puisque les indicateurs perceptifs du son ne sont pas suffisants pour décrire la gêne ou l'agrément.

Modèles de Terhardt et Stoll

Terhardt et Stoll [TS 81] mirent au point un premier modèle d'agrément basé sur la rugosité (calculée par la méthode de Terhardt [TER 74]) et l'acuité (calculée par la méthode de von Bismarck [VB 74b]). Pour cela, l'agrément de 17 sons fut évalué par des auditeurs et les résultats reliés à ces deux variables. Ils établirent donc un premier modèle d'agrément W basé sur l'opposé de l'agrément, c'est à dire le désagrément W^- :

$$W^- = S^2 + 0.16R^2 \quad (2.7)$$

avec R rugosité, S acuité.

Dans une deuxième étape, une variable supplémentaire fut introduite : la tonalité T . Pour chacun des 17 sons, les auditeurs fixèrent arbitrairement la valeur de la tonalité à 1 ou 0 suivant que le son leur semblait avoir une qualité tonale ou non. Un nouveau modèle fut mis au point :

$$W^- = \sqrt{S^2 + 0.25R^2 + 0.1(T^-)^2} \quad (2.8)$$

avec R rugosité, S acuité, T^- la non tonalité (0 ou 1). Ici, la relation entre agrément W et désagrément W^- est définie par $W = 1 - 1.19 \cdot W^-$

Modèle d'Unbiased Annoyance

La gêne causée par un son ne dépend pas uniquement de paramètres physiques mais aussi de la relation de l'auditeur à la source sonore (voir la définition de l'*Unbiased Annoyance* présentée au paragraphe 2.1). Pour prendre en compte cette relation, Zwicker [ZWI 91] a développé un modèle de désagrément sensoriel qui relie les caractéristiques du système auditif humain aux paramètres physiques des sons : la gêne non biaisée, notée UBA. Il propose d'utiliser l'unité "*annoyance unit*", notée *au* : 1 son pur de 1 kHz à 40 dB SPL a un UBA de 1 au.

Plusieurs expériences ont été menées afin d'établir une formule qui prend en compte l'influence majeure de la sonie ainsi que celle de la période de la journée concernée (*time-of-day*), mais aussi celle de l'acuité et de la force de fluctuation. La rugosité ne semblant pas jouer un rôle prépondérant dans la gêne non biaisée, elle n'est pas incluse dans le modèle. Zwicker considère que l'influence des composantes tonales est prise en compte dans la sonie. D'autre part, ce n'est pas l'intensité moyenne transformée en sonie qui est importante mais le niveau de sonie dépassée pendant 10% du temps : la sonie partielle N_{10} (*percentile loudness*).

$$UBA = d \cdot N_{10}^{1.3} \left(1 + 0.25(S - 1) \cdot \log(N_{10} + 10) + 0.3 \cdot F \cdot \frac{1 + N_{10}}{0.3 + N_{10}} \right) \quad (2.9)$$

avec S acuité (en acum), N_{10} la sonie dépassée 10% du temps (en sonnes) et F la force de fluctuation (en vacil). d est une pondération de la gêne en fonction de l'heure d'écoute :

$$d = \begin{cases} 1 & \text{de 6 h à 20 h} \\ 1 + \left(\frac{N_{10}}{5}\right)^{0.5} & \text{de 20 h à 6 h} \end{cases} \quad (2.10)$$

Cette pondération en fonction de l'heure s'explique par le fait que cet indice a été développé dans le but d'évaluer la gêne occasionnée par le bruit de trafic routier. Il est largement répandu pour l'évaluation de tous types de bruits, intérieurs ou extérieurs.

Modèle de *Psychoacoustic Annoyance*

La gêne psychoacoustique, développée par Widmann [WID 97] est notée *PA* pour *Psychoacoustic Annoyance*, et se mesure en au, *annoyance unit*. Elle est basée sur la sonie, l'acuité, la force de fluctuation et la rugosité :

$$PA = N_5 \left(1 + \left(a_S^2 + a_{FR}^2 \right) \right) \quad (2.11)$$

avec la contribution de l'acuité (pour $S > 1.75\text{acum}$) :

$$a_S = 0.25 (S - 1.75) \cdot \log (N_5 + 10) \quad (2.12)$$

et celle de la force de fluctuation :

$$a_{FR} = \frac{2.18}{(N_5)^{0.4}} (0.4 \cdot F + 0.6 \cdot R) \quad (2.13)$$

Widmann considère que la contribution de la sonie pour des événements sonores variables dans le temps peut-être estimée par la sonie dépassée 5% du temps (N_5). Les composantes tonales ne sont pas prises en compte du fait de l'absence de modèle de calcul fiable et reconnu. Cet indicateur de gêne a été proposé pour décrire la gêne liée aux bruits extérieurs de voiture. Il a été utilisé pour évaluer tous types de bruits : aspirateurs [ILSP 03], bruit de valve de coeur mécanique [NNJ⁺ 05].

Toutefois, Bodden [BOD 99] a mis en évidence les risques lors de l'utilisation de ces indices : ils ont souvent été définis pour des sons spécifiques et ne s'appliquent pas forcément à tous les types de sons. Il n'existe pas de standard comme il en existe pour la sonie [Int 75]. Pour l'évaluation de la gêne, du désagrément, la réalisation de tests perceptifs reste indispensable.

2.3 Mesurer la gêne

Comme vu au Chapitre 1, le bruit est devenu une des principales sources de désagrément en milieu urbain. Parallèlement à la mise en place d'un cadre juridique pour tenter de faire face à ce problème, des recherches tentent de développer des outils pour mesurer la gêne. Il s'agit de mettre au point des méthodes d'évaluation afin de relier les valeurs physiques du son à sa perception. L'étude de la détermination de relations quantitatives qui existent entre un stimulus physique et sa perception par un individu est appelée *psychophysique*. La *psychoacoustique* est la branche qui correspond à l'étude psychophysique des stimuli sonores.

Les objectifs des méthodes d'évaluation de la gêne sont, en premier lieu, d'évaluer ou de comparer la gêne pour différents sons, puis d'identifier les caractéristiques physiques ou perceptives du son utilisées par les auditeurs pour évaluer la gêne. Enfin, pour certaines études, un modèle peut être défini à partir d'indicateurs physiques mesurables. Ces modèles restent rarement applicables à d'autres types de sons que ceux pour lesquels ils ont été élaborés. On distingue deux types d'études : *in situ* et en laboratoire. Dans le premier cas, il peut s'agir soit d'enquêtes menées auprès de la population concernée [GUA 03] soit d'évaluations continues ou globales impliquant des sujets volontaires, experts ou non [HZG 97]. Dans le cadre de notre étude, nous n'avons pas les compétences nécessaires pour mettre en oeuvre une enquête auprès des riverains et le protocole expérimental à mettre en oeuvre pour des évaluations *in situ* aurait été trop lourd. C'est la raison pour

laquelle, la présente bibliographie présente majoritairement les résultats d'études en laboratoire.

Les études portant sur l'évaluation d'attributs perceptifs impliquent l'utilisation de plusieurs techniques pour mesurer, mettre en échelle la variable à évaluer. Il y a d'abord les méthodes unidimensionnelles développées pour mettre en évidence la relation entre un ou plusieurs stimuli physiques et un attribut perceptif. Trois types d'échelles unidimensionnelles peuvent être définies en fonction de la méthode de mesure employée : les échelles de catégories, les échelles de discrimination et les échelles de rapport (voir Annexe A). Dans le premier cas, les stimuli sont placés sur une échelle d'intervalles, numérique ou verbale. Dans le second, il va s'agir d'évaluer un stimulus par rapport à un autre : "A est plus grand que B", "B est plus grand que C". Il est donc possible de placer ces trois stimuli sur une échelle de discrimination. Dans les méthodes utilisant les échelles de rapport, il va s'agir d'ajuster l'intensité d'un stimulus par rapport à l'intensité perçue d'un stimulus de référence ou sans référence, de façon implicite. Les méthodes multidimensionnelles concernent l'étude de la relation entre les paramètres physiques d'un stimuli et plusieurs attributs perceptifs. Les échelles unidimensionnelles peuvent être utilisées pour chaque attribut à évaluer.

2.3.1 Le test de comparaison par paires

Les diverses procédures expérimentales mises en oeuvre pour évaluer la gêne ou tout autre attribut perceptif, peuvent être classées en deux catégories : les évaluations absolues pour lesquelles il est demandé à l'auditeur d'évaluer chaque son indépendamment des autres, et les comparaisons de sons par paires. Pour un nombre réduit de sons, c'est cette dernière méthode qui sera privilégiée : pour des auditeurs non spécialistes, la tâche de comparaison est plus simple à réaliser qu'une évaluation absolue.

Parizet et al. [PHS 05] ont comparé plusieurs méthodes d'évaluation de l'agrément de sons stationnaires, deux méthodes d'évaluation absolues, une de similarités et trois de comparaison par paires. Pour ces dernières, le protocole de base est le même : dans une première étape, l'ensemble des stimuli à évaluer est présenté aux auditeurs afin qu'ils se familiarisent avec les sons de l'étude. La suite des paires de sons est définie par une série de Ross [DAV 88], après un arrangement aléatoire des sons. Les paires sont présentées à l'auditeur qui, dans un premier temps, écoute la paire avant de l'évaluer. Trois de ces méthodes de comparaison par paires ont été étudiées par Parizet et al. [PHS 05] :

- comparaison par paire à choix forcé : après avoir écouté une paire de sons, l'auditeur doit choisir le son le plus plaisant entre deux propositions : "son A le plus plaisant" ou "son B le plus plaisant" (voir Figure 2.1, test T3).
- le 2ème type de méthode propose à l'auditeur 5 choix : "son A beaucoup plus plaisant", "son A plus plaisant", "A et B également plaisants", "son B plus plaisant", "son B beaucoup plus plaisant" (voir Figure 2.1, test T4).
- pour la 3ème, l'auditeur doit positionner un curseur le long d'une échelle continue, graduée à 5 catégories (voir Figure 2.1, test T5).

Pour ces trois méthodes de test de comparaison par paires, les auteurs ont mis en évidence que le nombre de sons (n) et donc de paires à évaluer ($\frac{n*(n-1)}{2}$) ne doit pas être trop important. Les espaces perceptifs obtenus par les six méthodes présentent de fortes similarités : les deux premiers axes sont stables quelle que soit la méthode. A noter que le pouvoir de discrimination est plus important pour les tests de comparaison que pour les évaluations absolues. De plus, pour obtenir un pouvoir de discrimination maximal, le test à choix forcé est à éviter. Le calcul des scores d'un test de comparaison par paires dépend de la grandeur comparée et de l'échelle utilisée. Trois approches sont couramment employées : linéaire, BTL (pour Bradley-Terry-Luce [BT 52, LUC 59]) et Thurstone, cas V [THU 27a, THU 27b].

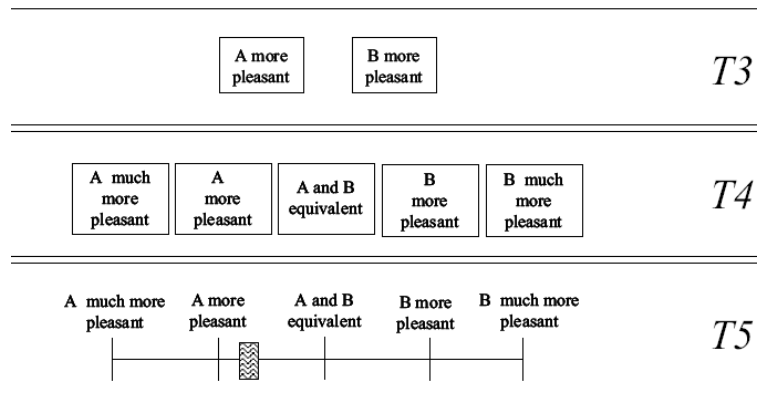


FIG. 2.1 – Échelles de réponses pour trois types de tests de comparaison par paires d'après l'étude de Parizet et al. [PHS 05].

Pour des jugements non unidimensionnels (comparaison par triades), des modèles de calcul d'échelles multidimensionnelles (*MDS*, *multidimensional scaling*) cherchent à représenter les stimuli dans un espace multidimensionnel de façon à ce que les distances dans cet espace correspondent aux distances psychologiques [WE 06].

2.3.2 Les verbalisations libres

Le principe de la méthode des verbalisations libres consiste à poser une question ouverte à un sujet et à le laisser s'exprimer librement : ce peut être lors d'une évaluation absolue comme lors d'une comparaison par paires. L'avantage de cette méthode est qu'elle va fournir des informations pour caractériser le stimulus d'un point de vue psychologique : sur quels aspects, caractéristiques d'un événement, l'auditeur se base-t-il pour évaluer les sons ?

Cette méthode peut être utilisée en temps que test préliminaire à une étude perceptive : l'analyse des réponses des auditeurs permet d'identifier les descripteurs pertinents et ainsi de mettre en place le protocole de ces tests [PN 99]. Dans ce cas, les verbalisations libres peuvent être réalisées en temps que test préliminaire. Inversement, elles peuvent être employées de façon complémentaire, pour permettre de caractériser l'espace perceptif lors de tests de comparaison par paires [PNAL 05].

Nous présenterons ici l'approche "Qualité Perçue" développée par Nosulenko et Samoylenko [NS 97, SMN 96]. Cette approche cherche à comprendre comment l'homme perçoit les objets complexes de son environnement, quelle est la qualité perçue de ces objets du point de vue d'un individu. Cette approche est basée sur trois principes :

1. les verbalisations produites au cours d'une activité psychique sont considérées comme données pertinentes pour son étude,
2. la tâche de comparaison constitue un facteur systémique dans les processus perceptifs, cognitifs et de communication verbale,
3. cette tâche s'analyse du point de vue logique, perceptif et sémantique.

L'analyse des verbalisations permet de paramétrer les facteurs qui caractérisent les objets étudiés.

L'approche systémique "Cognition et Communication" (ACC)

L'approche ACC, développée dans le courant de la tradition psychologique russe⁷, considère que la cognition humaine ne peut être étudiée indépendamment des processus de communication qui lui sont associés : c'est par l'intermédiaire des communications que les sujets échangent et élaborent leurs représentations subjectives [LOM 84]. Inversement, l'analyse des communications pourra être utilisée pour analyser le contenu des représentations. La principale caractéristique de cette méthodologie consiste donc à utiliser les données verbales pour analyser les processus psychiques.

Le choix de la méthode des verbalisations libres

L'analyse des processus cognitifs et perceptifs utilisant les protocoles verbaux peut être menée pour deux types de tests : les méthodes des verbalisations libres et celles à choix forcé. Pour ces dernières, les sujets doivent choisir parmi un corpus d'items celui qui correspond le mieux à leur perception. Nosulenko et al [NPS 98] considèrent que ces approches sont trop contraignantes : les choix fixés par les expérimentateurs ne peuvent pas toujours correspondre aux représentations des sujets et la signification des termes employés peut varier d'un individu à l'autre. Les méthodes de verbalisations libres permettent de contourner ces difficultés : l'analyse des verbalisations libres semble être un moyen efficace pour regrouper les informations concernant les caractéristiques pertinentes et définir les axes de jugements verbaux associés aux appréciations des sujets. Dans notre cas, il s'agira de caractériser des événements sonores associés aux actions de livraison (voir Partie II).

D'autre part, les méthodes de verbalisations libres sont basées sur l'idée que les productions verbales d'un sujet dont la tâche est de comparer deux stimuli est le meilleur moyen de mettre en évidence certains aspects subjectifs de la représentation que se fait l'auditeur des stimuli [SMN 96, NS 01]. Le principe de comparaison verbale est un des fondements de la procédure d'analyse des verbalisations libres mise au point par Nosulenko et Samoylenko.

Méthode d'analyse des protocoles verbaux

Les verbalisations libres produites par le sujet au cours du test perceptif sont enregistrées puis retranscrites. Des unités verbales pertinentes vont en être extraites puis analysées. Une base de données met ensuite en rapport les unités verbales et les différents paramètres caractérisant les conditions et les résultats du test. Dans une première étape, les unités verbales sont reliées aux paramètres permettant de coder les conditions du test, les données initiales sur le sujet et les objets étudiés : tâches, opérations, paramètres physiques mesurés... Ces paramètres sont appelés "paramètres de premier plan". Dans un deuxième temps, chaque unité verbale est pondérée en fonction de sa position dans l'ensemble du corpus, du nombre de répétitions et corrections et du nombre total d'unités verbales produites par chaque sujet : les unités verbales "un tout petit peu gênant", "gênant" et "très gênant" auront un poids différent du point de vue de leur présence dans l'ensemble des unités verbales produites par le sujet. Puis, chaque unité verbale est codée en fonction de trois dimensions : sens logique, référence aux objets et aspects systémiques. Le schéma d'analyse des unités verbales est détaillé dans les études de Nosulenko et Samoylenko [NS 97, NS 99].

Dans une étude sémantique de comparaison du timbre musical [SMN 96], Samoylenko et al. se sont intéressés à l'influence que pouvait avoir l'expérimentateur sur la construction et l'indexation de la base de données. L'analyse des verbalisations libres a donc été effectuée indépendamment par trois experts. Le taux total de divergences entre les experts a été calculé. Il s'agit du rapport entre le nombre total de désaccords entre les experts et le nombre total de jugements construits par ces experts pour les 10 phases de l'analyse. Dans cette

⁷pour plus de détails, on se référera à l'article de Nosulenko et Samoylenko [NS 97]

étude, le taux de divergence était faible (2%). L'influence de l'expérimentateur sur les traitements de la base de données (et donc des résultats qui en découlent) reste minime.

Portraits verbaux

A partir de la base de données des unités verbales indexées, on peut, pour chaque objet, action, comparer les valeurs de présence de ses caractéristiques en effectuant une analyse de la fréquence d'utilisation des unités verbales correspondant aux groupes sémantiques sélectionnés. La Figure 2.2 présente un des résultats de l'étude de Nosulenko et al. [NPS 98] sur la perception des bruits de moteurs diesel.

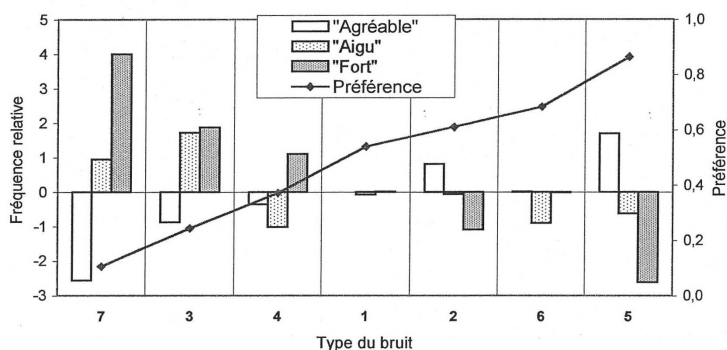


FIG. 2.2 – Exemple de portraits verbaux : bruits de véhicules à moteur diesel, d'après l'étude de Nosulenko et al. [NPS 98].

Ce type de présentation permet de définir l'ensemble des caractéristiques pertinentes qui détermine l'appréciation d'un produit (dans l'exemple, il s'agit de la préférence) et d'évaluer le poids de chaque caractéristique de cet ensemble. L'analyse de la base de données permet ensuite de mettre en correspondance les portraits verbaux et les paramètres mesurés des objets étudiés.

Chapitre 3

Évaluation continue de sons de longue durée

3.1 La mémoire

La mémoire, considérée comme l'une des principales facultés de l'esprit humain, est la faculté d'acquérir, de stocker et de reconstituer des informations dans le cerveau. Depuis le début du XXe siècle, de nombreux modèles structuraux de la mémoire ont été proposés. Le plus influent de ces modèles est le modèle modal, qui divise la mémoire en trois sous-systèmes de stockage : la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme. Ce modèle est une synthèse de nombreux résultats expérimentaux et représente la conception dominante de la mémoire humaine dans la psychologie cognitive de la fin des années 1960. Une formulation classique de ce modèle a été proposée par Atkinson et Schiffrin [AS 68].

3.1.1 Les trois mémoires, processus de stockage

En psychologie, sont regroupés sous le terme de mémoire les processus de codage, de stockage et de restitution de l'information.

Mémoire sensorielle L'information est d'abord récupérée par l'intermédiaire des sens (vue, odorat, ouïe, toucher, goût). Ce premier stockage de l'information est extrêmement court, il ne dure qu'une fraction de seconde : c'est la mémoire sensorielle. Neisser [NEI 67] a défini les termes de *mémoire iconique* (mémoire sensorielle visuelle) et de *mémoire échoïque* (mémoire sensorielle auditive). L'existence de la première a été montrée par Sperling qui l'a estimée de très courte durée (250 ms) et qui a mis en évidence certains effets de masquage de cette mémoire. Dans le domaine de l'audition, la durée de stockage va de 250 ms à 2 s et peut atteindre 4 s. A ces stimuli visuels et auditifs, peuvent s'ajouter des perceptions captées par les autres sens mais qui semblent jouer un rôle moins important. Ainsi en est-il de la mémoire sensorielle tactile (*mémoire haptique*). L'information contenue en mémoire sensorielle est supposée brute, sans signification tant qu'elle n'est pas passée en mémoire à court terme.

Mémoire à court terme - MCT L'information est ensuite transférée et stockée en mémoire à court terme. L'information est maintenue par un processus d'autorépétition. Par un processus dit d'attention renforcé, l'individu va choisir de conserver ou non l'information : dans une situation bruyante (hall de gare), toutes les informations sont stockées en mémoire sensorielle, mais seules celles que l'individu veut saisir vont être retenues (annonces au micro...). Outre ce tri sélectif, le mécanisme d'oubli "efface" l'information de la mémoire. Peterson et Peterson [PP 59] ont démontré un oubli rapide de l'information en MCT. La taille du tampon de mémoire est limitée, tout nouvel item présenté remplacera le dernier entré et chassera le premier entré. Un second mécanisme d'oubli est celui du déclin naturel de la trace mnésique : une information non entretenue par autorépétition décline rapidement avec le temps. Enfin, il apparaît que les informations interfèrent plus ou

moins entre elles en fonction de leur degré de ressemblance : plus elles se ressemblent, plus le risque d'interférence et d'oubli est important. Au final, seulement 10% de l'information va ensuite être transféré en mémoire à long terme où elle sera stockée par le même processus d'autorépétition.

Mémoire à long terme - MLT Contrairement aux précédentes mémoires qui effacent les données aussitôt après leur traitement, la mémoire à long terme stocke les informations pendant une longue période, voire toute la vie. D'une capacité considérable, la MLT est dépositaire des souvenirs, des apprentissages, en résumé, de l'histoire d'un individu. Les informations perçues sont organisées et régies par des systèmes qui fonctionnent en relation permanente.

Une distinction est faite entre la *mémoire épisodique* et la *mémoire sémantique*, d'une part, et entre la *mémoire procédurale* et la *mémoire déclarative*, d'autre part. La *mémoire épisodique* permet de se souvenir des événements, des noms, des dates et des lieux qui sont propres à l'individu. Elle est très liée au contexte affectif. La *mémoire sémantique* concerne les concepts, le sens des mots et des symboles, elle rend possible l'acquisition et la répétition de connaissances générales sur le monde. Il existe également une mémoire qui concerne la forme des mots. C'est la *mémoire lexicale*. Mémoires sémantique et lexicale sont regroupées sous le terme *mémoire verbale*. La *mémoire procédurale* correspond au savoir-faire. Elle sert à réaliser des opérations complexes souvent motrices (conduire une voiture, faire du vélo ...) et entre probablement en jeu dans l'apprentissage "par coeur". La *mémoire déclarative* est celle du "savoir". Elle recouvre les connaissances verbalisables spécifiques ou générales que nous avons des situations et des faits : elle permet d'évoquer de façon consciente des souvenirs sous la forme de mots.

3.1.2 Le codage des informations

Le codage est le processus par lequel les caractéristiques d'un stimulus ou d'un événement sont traitées et converties en une trace mnésique. L'information est donc codée en codes sensoriels puis en codes mnémoniques (comme les codes sémantique, lexical ou acoustique). Les codes acoustiques sont prédominants en mémoire à court terme alors que ce sont les codes sémantiques qui prévalent en mémoire à long terme. C'est une différence supplémentaire pour différencier ces deux mémoires.

3.1.3 Effets de récence et de primauté de la mémoire auditive

Certains phénomènes lors du stockage ou du codage de l'information en mémoire vont parfois entraîner des pertes d'information ou simplement l'assimilation d'une partie au dépend d'une autre. Ici, nous nous intéresserons plus particulièrement aux phénomènes liés à la mémoire auditive.

Tout d'abord, en mémoire échoïque (tout comme en mémoire iconique), il existe un phénomène de masquage rétroactif : lorsqu'un son est suivi d'un deuxième son masquant, il y a recouvrement au niveau du traitement du signal entre 0 et 250 ms.

Dans une expérience sur la mémoire à court terme et la mémoire à long terme, Postman et Phillips [PP 65] et Glanzer et Cunitz [GC 66] ont présenté des listes de mots de différentes longueur puis ont demandé à leurs sujets de rappeler les mots dont ils se souvenaient dans l'ordre qu'ils souhaitaient (rappel libre). Quand le rappel a lieu immédiatement, les premiers et les derniers éléments de la liste sont les mieux rappelés. Quand le rappel a lieu après 15 ou 30 secondes, seuls les éléments du début de la liste ont une forte probabilité de rappel. Ceci permet aux auteurs de prouver l'existence de la MCT : le début de la liste serait rappelé de la mémoire à long terme (effet de primauté) et donc encore disponible après 30 secondes. La fin de la liste serait stockée en mémoire à court terme et disparaîtrait rapidement après la présentation (effet de récence).

L'*effet de récence* désigne donc la facilité à rappeler les derniers éléments d'une liste de stimuli stockés en mémoire à court terme, alors que l'*effet de primauté* est la faculté à rappeler ceux composant le début de la liste, stockés en mémoire à long terme.

3.2 Les méthodes d'évaluation continue

Depuis plus de quarante ans, la majorité des méthodes de test développées en laboratoire concernent essentiellement l'évaluation de segments sonores de courte durée (typiquement 15 s). Mais l'environnement sonore urbain constitué d'événements variant au cours du temps (arrivée d'un véhicule, freinage...) a nécessité le développement de nouvelles méthodes d'évaluation adaptées au jugement de séquences sonores longues (Kuwano et Namba [KN 85], Fastl [FAS 91], Weber [WEB 91]). L'une d'entre elles est la méthode d'évaluation continue. Elle consiste à évaluer un paramètre perceptif, tel que la sonie ou l'agrément d'un son, lors de l'écoute de la séquence.

3.2.1 Quatre familles de méthodes d'évaluation continue

Les études concernant l'évaluation de longues séquences sonores détaillent la méthode utilisée. On peut compter quatre grandes familles de méthodes basées sur le type d'échelle employée lors de l'évaluation perceptive : méthodes par catégories, méthodes analogiques, méthodes analogiques catégorielles (combinaison des deux précédentes) et méthodes par descripteurs sémantiques (pour plus de détails sur les échelles, voir Annexe A).

Méthode d'évaluation continue par catégories

La méthode d'évaluation par catégories a été mise au point par Kuwano et Namba pour évaluer la sonie de longues séquences sonores [KN 85, KNH 97, KKKN 97]. Les touches d'un clavier d'ordinateur sont associées à 7 catégories successives allant de "très très faible" à "très très fort" dans le cas d'évaluation de la sonie. Le sujet doit appuyer sur le bouton qui correspond le mieux à sa perception lorsque celle-ci varie. La Figure 3.1(a) présente l'exemple d'une courbe de réponse d'un auditeur enregistrée en continu (courbe avec paliers). L'enveloppe du niveau de pression en dB(A) a été superposée.

Cette méthode a très souvent été employée pour l'évaluation continue de bruit de trafic routier [KN 85, HKS⁺ 94], bruits intérieurs de voiture [KNH 97], de trafic aérien [NKHK 91] ainsi que pour d'autres sources réelles variées [NKF⁺ 04]. Elle est adoptée pour l'évaluation de différents aspects du son : sonie [KN 85], bruyance (*noisiness*) [NK 80], habitude au bruit [NK 88]. . .

Le principal avantage de cette méthode réside dans le fait que la tâche à accomplir est facile à réaliser pour l'auditeur : il n'y a pas besoin de période d'entraînement préalable et aucune attention particulière n'est nécessaire pour utiliser cette méthode. Son principal désavantage apparaît quand un auditeur souhaite exprimer une légère variation de sensation mais qui n'est toutefois pas assez importante pour justifier un saut à la catégorie suivante.

Méthode d'évaluation continue analogique

Pour prendre en compte ce type de variations, Kuwano et Namba [KN 90] ont élaboré une échelle analogique pour évaluer le son en continu : l'auditeur dispose d'un curseur coulissant le long d'une échelle. La Figure 3.1(b) montre la position du curseur qui correspond à la sonie instantanée perçue en fonction du temps. La ligne pointillée représente la moyenne arithmétique de la sonie instantanée perçue et la ligne en pointillés la

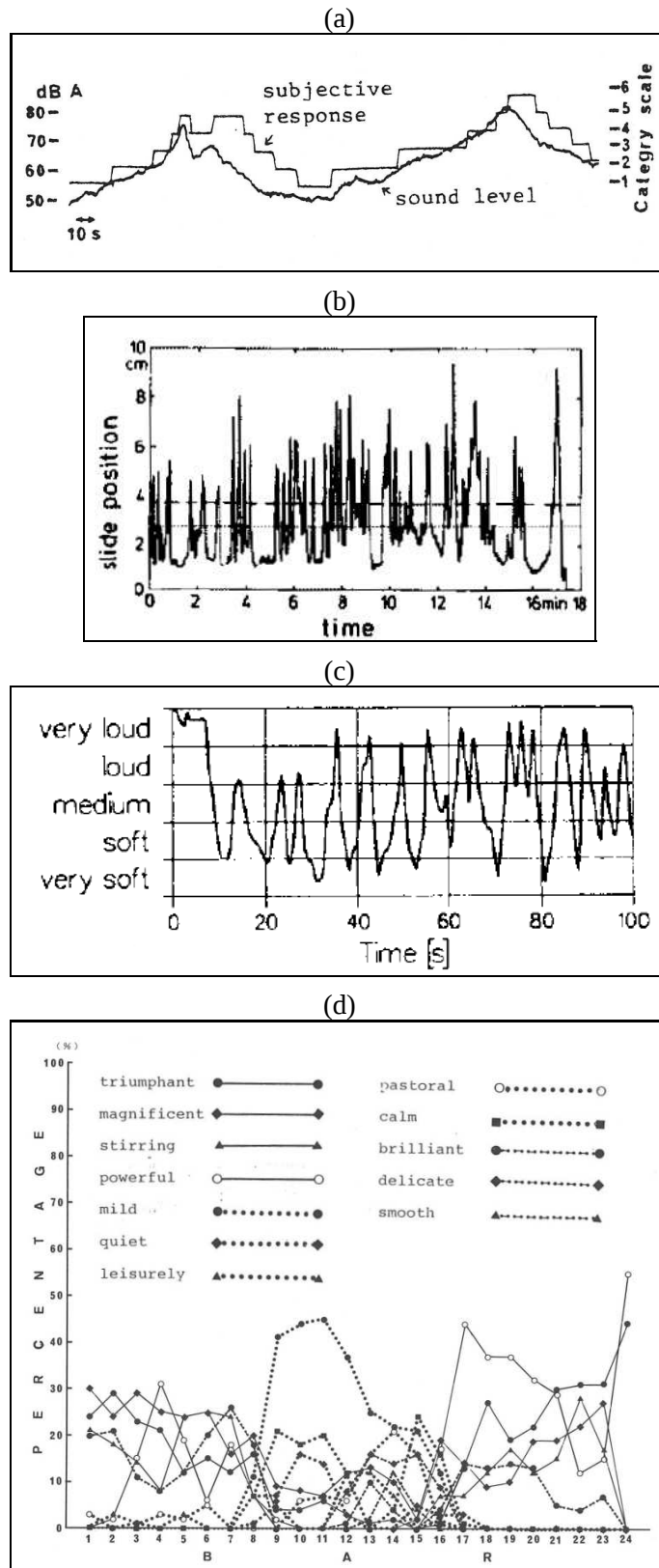


FIG. 3.1 – Exemples d'enregistrements de jugements en continu : (a) par catégories [KN 85], (b) analogique [FAS 91], (c) analogique catégoriel [WEB 91] et (d) sémantique [NKHK 91].

sonie globale perçue (résultat de l'évaluation globale). Cette méthode reste limitée par l'"effet de plafond" due à l'échelle fixe : pour des événements très forts, le sujet ayant déplacé le curseur à sa limite maximale supérieure, ne peut plus exprimer sa sensation de sonie si d'autres événements encore plus forts apparaissent. La courbe de réponse présentera alors un palier artificiel, non représentatif du jugement de l'auditeur.

C'est la raison pour laquelle Fastl et al. [FKN 96] ont développé une méthode d'ajustement de la longueur d'une ligne : la tâche du sujet consiste à ajuster la longueur d'une ligne sur un écran de manière à ce que cette longueur représente sa perception de la sonie instantanée. Cette méthode présente l'avantage de ne pas avoir de limite mécanique : l'auditeur peut augmenter la valeur du maximum de l'échelle autant qu'il le souhaite. Cependant, la vitesse de variation de la ligne étant fixe, l'auditeur est limité dans le contrôle précis de la variation de l'échelle. Cette méthode fut utilisée pour évaluer la sonie de bruits de trafic routier et ferroviaire. Gottschling [GOT 99] l'utilisa pour évaluer la sonie de bruits de trafic routier et ferroviaire et Kato et al. [KNK 94] pour évaluer la capacité des auditeurs à suivre chaque niveau de fluctuation : malgré l'utilisation d'un track-ball, les sujets n'arrivent pas toujours à ajuster la longueur de la ligne pour suivre toutes les modifications de niveaux sonores. Ceci peut être dû à une limitation des capacités motrices humaines.

Le CRDI (Continuous Response Digital Interface) développé au Center for Music Research de Floride est un dispositif qui permet de mesurer en continu les réponses émotionnelles d'auditeurs lors de l'écoute de séquences musicales. Il s'agit d'un cadran aux extrémités prédéfinies par des couples d'adjectifs comme "gai/triste", "émotionnel/sans émotion" sur lequel l'auditeur peut déplacer un curseur en continu pour exprimer son émotion. Son interface étant très simple d'utilisation, il est couramment employé pour l'évaluation de la capacité de concentration des auditeurs [MC 01], de la qualité d'une performance musicale [JOH 92], la préférence d'extraits musicaux [GRE 94, BS 95]. . .

Méthode d'évaluation continue analogique catégorielle

Weber [WEB 91] a mis au point un appareil qui combine les deux précédentes échelles afin d'évaluer la sonie de bruit de trafic routier. L'auditeur dispose d'un boîtier muni d'une ligne verticale graduée avec 5 catégories ("very soft", "soft", "medium", "loud", "very loud"). Il peut exprimer sa sensation de sonie à chaque instant en positionnant le curseur en continu tout le long de cette échelle. Les catégories "loud" (fort) sont placées sur le haut de l'échelle et les catégories "soft" (faible) sur le bas : de cette façon, l'auditeur éloigne le curseur de lui lorsque le son devient plus fort. Lorsqu'il perçoit que le niveau baisse, il le ramène vers lui. La Figure 3.1(c) montre la réponse d'un auditeur à l'évaluation continue de la sonie d'une séquence sonore de passages de voitures.

Tout comme la méthode par catégories, cette méthode a l'avantage d'être simple d'utilisation pour l'auditeur (pas de besoin de période d'entraînement préalable) tout en évitant le problème du choix de saut de catégorie lors de petites variations puisque l'auditeur peut utiliser tous les points de l'échelle pour exprimer sa perception. L'utilisation des labels permet de fixer une échelle aux écarts identiques entre catégories mais aussi d'avoir une information plus précise sur le jugement de l'auditeur qu'avec une échelle analogique. Un autre avantage de ce type de méthode est d'éviter en partie les effets de saturation ("effet de plafond").

Hellbrück et al. [HEL 36, HZG 97] ont aussi utilisé ce type d'échelle pour évaluer le bruit de trafic routier et ferroviaire. Mais le protocole était légèrement différent : la "Category Subdivision Scale" (CS Scale) est la combinaison d'une échelle catégorielle à 5 [HEL 36] ou 7 catégories [HZG 97] subdivisées en 10 sous catégories. Durant l'écoute de la séquence sonore, l'auditeur doit fournir un jugement toutes les 15 s. Susini a lui aussi employé le montage avec échelle analogique catégorielle de Weber pour l'étude de signaux sinusoïdaux d'amplitude variable [SUS 99, SMW 99]. Dans une étude de Parizet et al. [PHSK 03], les auditeurs devaient

évaluer le confort d'un bus en utilisant ce même type d'échelle continue à 5 catégories. Les auteurs arrivèrent à la conclusion que la méthode d'évaluation continue de la sonie pour des bruits de trafic routier était une méthode valable pour l'évaluation de ce critère subjectif. Hedberg et al [HC 98] évaluèrent la sonie et la brillance (*brightness*) de nombreux sons en utilisant un curseur coulissant le long d'une échelle à 10 catégories. Gros et al. [GC 01] et Hansen et al. [HK 99] utilisèrent une procédure similaire pour évaluer la qualité de la parole.

Méthode d'évaluation continue avec échelle sémantique

Les trois méthodes précédentes sont basées sur des échelles unidimensionnelles. L'intérêt de la méthode à échelle sémantique est qu'elle permet de réaliser une description multidimensionnelle en continu.

Namba et al. [NKKH 91] mirent au point une "méthode de jugement en continu par description sélective" : il est demandé aux auditeurs de juger des performances musicales en utilisant une échelle sémantique. La première étape de l'étude consistait à construire cette échelle : dans un premier temps, les auditeurs devaient décrire brièvement les séquences musicales. Une analyse des verbalisations libres a permis d'obtenir une liste d'adjectifs. Dans une seconde étape, les auditeurs devaient sélectionner dans cette liste les descripteurs qu'ils jugeaient les plus significatifs. Les adjectifs retenus ont ensuite été associés à différentes touches d'un clavier de PC pour constituer le dispositif à échelle sémantique. C'est à l'aide de ce montage que les auditeurs devaient, dans une dernière étape, évaluer les séquences sonores en continu : à chaque instant, l'auditeur avait la possibilité de choisir une ou plusieurs touches du clavier pour représenter au mieux son (ses) impression(s). La Figure 3.1(d) montre un exemple de résultat pour la Promenade 1, *Tableaux d'une exposition* de Modeste Moussorgski : il s'agit du pourcentage de sélection de chaque adjectif pour les 16 sujets de l'étude.

Cette méthode permet d'obtenir des jugements en continu multidimensionnels grâce à la présélection du vocabulaire. Par contre, cet aspect multidimensionnel dépend fortement de la capacité de l'auditeur à émettre plusieurs jugements simultanément en employant les nombreux boutons du clavier.

3.2.2 D'autres dispositifs d'évaluation continue

Méthode d'évaluation continue avec dispositif proprioceptif

A ces quatre types de méthode d'évaluation continue basées sur le type d'échelle employée, on peut ajouter un autre moyen de juger en continu : Susini [SM 00] développa un dispositif à retour d'effort utilisant une procédure d'appariement inter modal (*cross-modal matching device*, CMM). L'auditeur devait ajuster sa sensation d'intensité de force musculaire à sa perception de la sonie. Ce dispositif fut encore utilisé pour évaluer le bruit intérieur de voiture en phase d'accélération (son réel et synthétisé) [SUS 99]. En utilisant des sons purs de durée et d'amplitude variables, Susini et al. [SMB 02] mirent en évidence que les évaluations de la sonie par la méthode d'évaluation continue étaient proches du niveau instantané des sons, même si un décalage temporel était observé entre le contour des stimuli et le contour du profil de réponse. Ils montrèrent aussi qu'il existe une asymétrie entre les réponses à des profils croissants et décroissants.

Le dispositif "Continuous Response Digital Interface" à deux dimensions

Dans les études portant sur l'évaluation de séquences musicales, les approches multidimensionnelles sont préférées puisque qu'il est généralement reconnu que l'émotion est un phénomène multidimensionnel [RUS 79, SCH 96, SCH 01]. Pour cela, des dispositifs à deux dimensions ont été mis au point, dont une version du CRDI à deux dimensions indépendantes [MAD 97, SCH 99a] : sur un écran d'ordinateur, l'auditeur peut déplacer le curseur de la souris sur un espace émotionnel (*emotion space*) défini par deux axes perpendiculaires se croisant au point zéro (voir Figure 3.2). Huit petits smiley (ou émoticônes) sont placés aux positions extrêmes pour

renforcer visuellement les régions de l'espace émotionnel. L'ouverture des yeux et de la bouche correspondent à l'éveil (*arousal*), c'est à dire au caractère actif ou passif que suscite le stimulus, l'échelle allant de l'envie de dormir, *sleepiness*, à l'excitation, *excitedness*, et l'amplitude du sourire (ou de la grimace) correspond à la *valence*, c'est à dire au caractère joyeux/triste du son (*happiness-sadness*).

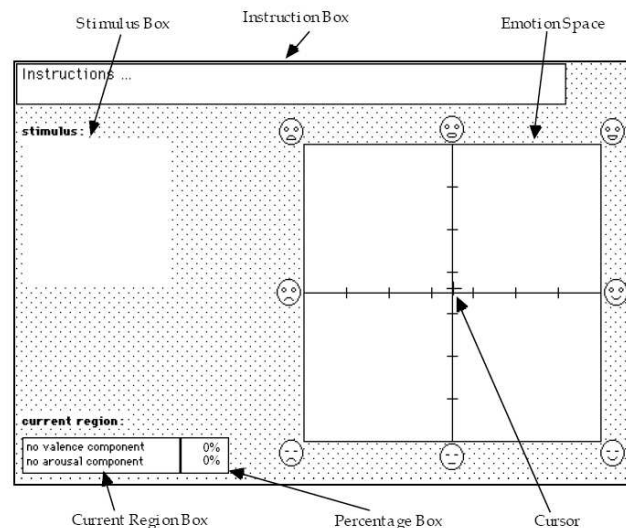


FIG. 3.2 – Capture d'écran de l'interface du CRDI à 2 dimensions. A l'aide de la souris, l'auditeur va déplacer le curseur dans l'espace émotionnel (*emotion space*), muni d'un axe de valence (*horizontal*) et d'un axe d'éveil (*arousal*, vertical). Les instructions sont présentées dans la partie *Instruction Box*, et les stimuli, lorsqu'ils sont visuels, dans la *Stimulus Box*.

La méthode du Temps-Intensité

La méthode dite du *Temps Intensité* (TI) est largement utilisée lors d'évaluations sensorielles dans le domaine du goût ou de l'olfaction [KPN 93, LUN 92, OEP 91] : l'appréciation de l'amertume d'une bière, du caractère fruité d'un bonbon, du caractère citronné d'un parfum d'ambiance, dépendent, pour une grande part, du temps de libération du parfum, de l'intensité et de la persistance du goût/parfum. Elle est aussi appliquée à l'étude de la texture pour suivre la déstructuration d'un produit au cours de la mastication [DBF 97].

Il s'agit d'une méthode d'évaluation continue durant laquelle le sujet utilise une échelle linéaire continue pour indiquer sa perception à chaque instant (pour le protocole détaillé de la méthode, voir l'article de Giboreau [GIB 01]). Pour chaque sujet, chaque produit, chaque descripteur et chaque évaluation, les résultats se présentent sous la forme d'une courbe d'intensité I en fonction du temps T (voir Figure 3.3).

Ces courbes ont des propriétés statistiques qui requièrent des méthodes d'analyse spécifiques [DP 01] :

- les courbes de réponses contiennent un grand nombre de données,
- les différences inter-individuelles sont importantes,
- il existe aussi des différences intra-individuelles fortes,
- les courbes de réponses ont des formes spécifiques : il est possible de reconnaître à quel sujet¹ appartient une courbe uniquement en observant la forme générale. C'est l'*effet signature* [LUN 92, PD 01].

¹ dans les études d'analyse sensorielle, les sujets sont des experts

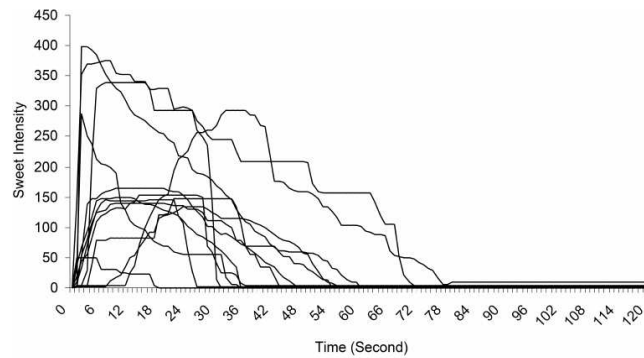


FIG. 3.3 – Exemple de courbes de Temps-Intensité du caractère sucré d’une bière par 13 sujets (d’après l’étude de Techakriengkrai et al. [TPP 04]).

3.3 L’analyse des résultats

Les réponses des auditeurs à l’évaluation continue se présentent sous la forme de courbes représentant l’attribut à évaluer (sonie, agrément, brillance, saveur...) en fonction du temps (voir Figures 3.1 et 3.3). Les méthodes de traitement et d’analyse des jugements en continu sont multiples et dépendent à la fois de la méthode employée et des objectifs de l’étude. Dans cette partie, les principales méthodes de traitement et d’analyse exposées dans la littérature seront présentées.

3.3.1 Traitement des données

Fiabilité de la méthode

La première question qui se pose lors de l’utilisation de la méthode d’évaluation continue est sa fiabilité : les réponses des auditeurs sont-elles consistantes ? Le test est-il répétable ? Une première méthode pour vérifier la stabilité des réponses des auditeurs consiste à leur demander d’évaluer plusieurs fois la même séquence sonore, dans des conditions identiques (attribut à évaluer, type d’écoute, matériel et échelle d’évaluation).

Dans une étude sur l’évaluation de l’inconfort d’une séquence sonore d’utilisation d’un bus, Parizet et al. [PHSK 03] choisirent de faire juger en continu la même séquence sonore, deux fois lors d’une même expérience. Entre deux des deux jugements en continu, il était demandé à l’auditeur d’évaluer la difficulté de la tâche d’évaluation continue. Le coefficient de corrélation entre les deux profils de réponse obtenus est ensuite calculé pour chaque auditeur. Lorsque la tâche est trop difficile, la valeur obtenue ne peut être importante. En se basant sur cette première analyse des coefficients de corrélation, il apparaît que, pour 80% des auditeurs de l’étude de Parizet et al., la tâche a semblé réalisable, même si un questionnaire a révélé qu’elle était perçue comme assez difficile.

Une autre possibilité consiste à répéter l’expérience d’évaluation continue à l’identique, lors de deux expériences éloignées dans le temps : pour vérifier la validité de la méthode d’espace émotionnel à deux dimensions (voir section 3.2.2), Schubert [SCH 99b] a fait repasser le test à des auditeurs 6 à 12 mois après qu’ils l’eussent passé une première fois. De la même façon, il a comparé les réponses des auditeurs en calculant la corrélation entre les résultats. Elle reste modérée : $r = 0.74$.

Ensuite, la reproductibilité de l’expérience peut simplement être vérifiée par rapport aux différences inter et intra individuelles des profils de réponse. Dans une étude sur l’évaluation continue de la qualité de la parole, Hansen et Kollmeier [HK 99] trouvèrent une faible variabilité inter et intra-individuelle (4 stimuli ; 11 sujets) :

les auditeurs semblaient utiliser le curseur de manière reproductible.

Temps de réaction

Il existe un délai, appelé *temps de réaction*, entre la présentation d'un évènement sonore et la réponse de l'auditeur à cet évènement. Ce délai dépend du sujet, de la méthode utilisée et du signal testé. Une méthode pour déterminer le temps de réaction consiste à calculer la valeur maximale du coefficient de corrélation entre la réponse de l'auditeur et le profil de la variable physique évaluée : lors d'évaluations continues de la sonie, une bonne corrélation est obtenue entre les courbes réponses et la courbe $L_{Aeq,100ms}$ [KN 85, NKF⁺ 04, SM 00] ou la courbe de sonie [SCH 99a]. Les temps de réaction obtenus lors d'études sur l'évaluation du niveau sonore [KN 85, WEB 91, HC 98, SUS 99] sont de l'ordre de 1 s. Pour le jugement de la qualité de la parole, Hansen et Kollmeier [HK 99] trouvèrent un temps de réaction d'environ $1 s \pm 0.15$.

Parizet et al. [PHSK 03] définirent le temps de réaction par rapport à un évènement sonore particulier : lorsque la réponse de l'auditeur présente une forte augmentation de l'inconfort perçu dans les 5 s qui suivent l'instant où la porte du bus s'ouvre, le temps de réaction de l'auditeur est alors défini comme la différence entre le temps physique de l'évènement et le pic d'amplitude de la réponse. Les valeurs obtenues par cette méthode (entre 0.9 et 3 s, moyenne 1.9 s) sont plus importantes que celles obtenues pour les études sur la sonie. Ceci peut s'expliquer par la nature des sons à évaluer : dans les études concernant les bruits de trafic, les variations sont moins rapides que celles observées lors de l'ouverture et de la fermeture d'une porte de bus. Ce phénomène avait déjà été noté par Hedberg et Jansson [HC 98] : plus l'enveloppe temporelle de l'évènement est courte, plus le temps de réaction est important. Ces auteurs ont aussi mis en évidence que le temps de réaction est plus important pour de petites que pour de grandes variations en amplitude.

Fréquence d'échantillonnage des réponses

Sur la base d'analyses de corrélations et de mesures des temps de réactions des auditeurs, Schubert [SCH 01] suggère qu'un taux d'échantillonnage de la réponse des auditeurs de 2 Hz est suffisant pour les études portant sur l'émotion. Kuwano, Fastl et Namba [KN 85, FAS 91, FKN 96] échantillonnent les réponses des auditeurs à 10 Hz pour pouvoir les comparer au $L_{Aeq,100ms}$ et Weber [WEB 91] enregistre les profils de réponse des auditeurs à 50 Hz. Le temps de réaction des auditeurs correspondant à des fréquences très faibles, le choix de la fréquence d'échantillonnage de la réponse ne pose pas de problème.

Présent psychologique

Dans leurs travaux sur l'évaluation continue de la sonie, Kuwano et al. [KN 85] posent la question : "qu'est-ce qu'un jugement instantané ?" Ils s'intéressent alors à la notion de *présent psychologique*. Contrairement au présent physique qui est un point du temps, un instant, le présent psychologique est une durée pendant laquelle des évènements successifs semblent constituer une même unité perçue par un individu.

Pour les jugements en continu, il s'agit de la période de temps pour laquelle les impressions subjectives sont intégrées et perçues comme unité de temps. Pour la déterminer, l'énergie sonore est calculée pour plusieurs pas d'intégration (entre 0.5 et 6 s). Le coefficient de corrélation entre valeurs physiques intégrées et réponses des auditeurs est pris comme référence pour définir ce temps d'intégration, considéré comme valeur de la durée du présent psychologique. Dans l'étude sur les bruits de trafic routier, Kuwano et al. [KN 85] estimèrent la durée du présent psychologique à 2.5 s. Lors de l'évaluation continue de bruit de pas, cette durée est de 0.6 s [NKF⁺ 04].

3.3.2 Extraction de paramètres pour un évènement donné

Dans le cas des courbes de Temps-Intensité, un moyennage des courbes est impropre car les différences inter-individuelles et intra-individuelles sont trop importantes [DP 01]. Deux types d'approches ont été développées pour traiter ces données : l'extraction de paramètres et le traitement global des courbes. C'est l'approche directe d'extraction des paramètres qui est la plus fréquemment employée. La norme E1909 [Ame 98] définit un certain nombre de paramètres comme l'intensité maximale (I_{max}), le temps pour atteindre l'intensité maximale (T_{max}), l'aire sous la courbe, le temps de démarrage (quand I devient différent de zéro), la durée totale, les vitesses d'augmentation et de diminution de l'intensité. . . Le traitement global des courbes est plus complexe et plusieurs modèles sont proposés (voir 3.3.3).

Une approche intermédiaire est celle proposée par Lallemand et al [LGRC 99] : elle consiste à simplifier chaque courbe en partant du point d'intensité maximum (I_{max}), en la schématisant par un trapèze, appelé courbe squelette, défini par quatre points : $t_{5\%asc}$ et $t_{90\%asc}$, les temps à respectivement 5% et 90% de l'intensité maximale dans la phase ascendante, et $t_{5\%des}$ et $t_{90\%des}$, leur équivalents dans la phase descendante. Ainsi ces cinq valeurs (avec I_{max}) sont les *paramètres primaires* à partir desquels une courbe squelette moyenne représentant la courbe TI du produit peut-être construite (voir Figure 3.4). Des paramètres secondaires moyens peuvent être calculés à partir de ces paramètres primaires moyens pour quantifier la dynamique des courbes : durée, vitesse et aire des phases ascendante, plateau, descendante et totale. La courbe squelette et l'ensemble des paramètres extraits permettent une caractérisation précise de chaque produit testé et des représentations graphiques simples.

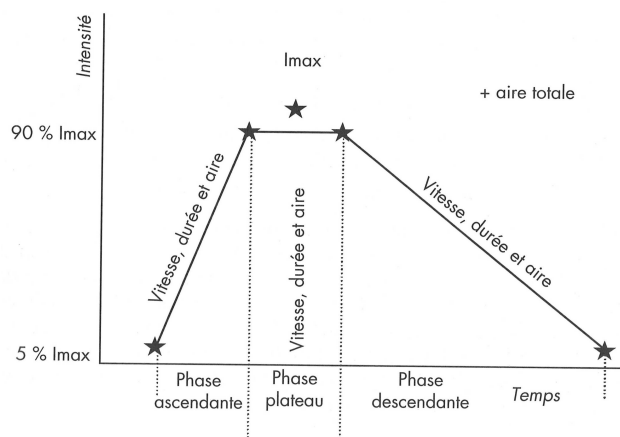


FIG. 3.4 – Schéma d'une courbe squelette et paramètres sélectionnés - Chaque courbe TI est schématisée par un trapèze défini à partir de l'intensité maximale I_{max} et par les points correspondants à 5 et 90% de I_{max} sur les phases montante et descendante. Des paramètres secondaires sont calculés pour chaque phase (vitesse, durée, aire).

Ce principe d'analyse proposé pour les courbes de TI ne peut pas toujours être appliqué à l'analyse des courbes de réponses d'évaluation continue. Tout d'abord, les jugements TI ne portent que sur un seul évènement à évaluer alors que les séquences sonores en comportent souvent plusieurs. Si ces évènements sont éloignés les uns des autres, ils peuvent être traités de façon individuelles en suivant les méthodes d'analyse des TI (ouverture, fermeture de porte, ou bruit de passage d'un véhicule). Mais s'il y a superposition des évènements, ces méthodes ne sont plus applicables (cas d'une séquence sonore en milieu urbain : bruit de trafic routier, activités humaines. . .).

D'autre part, l'allure générale d'une TI reste à peu près toujours la même : au temps $t = 0$, l'intensité

est nulle puisqu'il s'agit du temps initial pour lequel l'aliment à évaluer est mis en bouche. Puis une phase de montée s'amorce, suivie d'un plateau et d'une phase de descente qui correspondent à la diffusion de l'arôme dans le palais. La courbe de TI se termine lorsque l'intensité retrouve une valeur nulle. Ceci est lié au fait que l'intensité de l'attribut à évaluer est déjà une courbe du même type. Lors de l'évaluation d'un évènement sonore, l'enveloppe temporelle de l'intensité suivant un attribut donné ne présentera pas toujours une allure similaire. D'abord, il peut y avoir la présence d'un bruit de fond : au temps $t = 0$ (début de l'évènement), le niveau de l'attribut à évaluer peut ne pas être nul, de même qu'à la fin de l'évènement. D'autre part, dans le cas de bruit de trafic routier, l'enveloppe temporelle de la sonie pourra varier de façon plus ou moins aléatoire : l'intensité "objective" ne suit pas une courbe type, elle est fonction du stimulus étudié. L'analyse des réponses en courbes squelettes ne pourra alors pas être employée.

3.3.3 Traitements globaux des courbes de réponses

Différentes façons d'évaluer en continu

La façon dont les auditeurs interprètent la tâche qu'il leur est demandé de réaliser et dont ils effectuent leur jugement peut fortement varier d'un sujet à l'autre. Un examen des réponses individuelles constitue souvent une première étape dans l'analyse globale des profils de réponse. En effet, il est possible de reconnaître à quel sujet appartient une courbe uniquement en observant la forme générale. C'est l'*effet signature* mis en évidence lors d'études Temps Intensité [LUN 92, PD 01] pour des sujets entraînés.

Dans une étude sur l'évaluation de la sonie de bruit de passage de voitures, Weber [WEB 91] identifia deux types de comportement. Dans le premier cas, qui concerne la majorité des auditeurs (voir Figure 3.5a), le sujet cherche à convertir le plus rapidement possible son impression de sonie instantanée en un mouvement du curseur pour exprimer son jugement. Dans le deuxième cas, la façon de procéder diffère : les auditeurs ont modifié moins fréquemment la position du curseur sur l'échelle. Il semblent avoir répondu par intégration : sur la Figure 3.5b, on voit bien que l'auditeur n'a modifié son jugement que lors d'altérations importantes du niveau sonore.

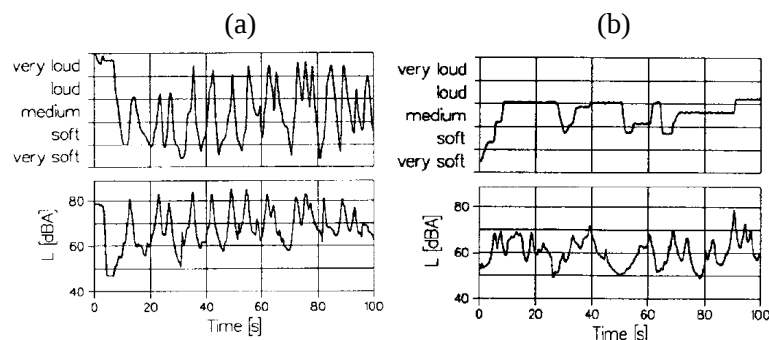


FIG. 3.5 – Profils de réponse à l'évaluation continue de la sonie d'un bruit de passages de voiture (en haut) et niveau sonore en dB(A) du stimuli évalué, d'après l'étude de Weber [WEB 91].

Parizet et al. retrouvèrent ces mêmes façons de répondre pour l'évaluation de l'inconfort dans un bus : certains auditeurs cherchent à suivre les variations de leur sensation le plus précisément possible alors que d'autres ne modifient leur réponse que lorsque leur sensation varie de façon significative. Les auditeurs étaient également répartis dans les deux catégories de réponse.

Moyennage des réponses

Pour l'analyse des TI, Mac Fie et Liu [MFL 92] et Overbosch et al. [OVDEK 86] ont proposé des méthodes de moyennage prenant en compte les deux dimensions, intensité et temps, qui correspondent à des transformations des données d'origine. Van Buren [VB 92] propose de conduire des analyses en composantes principales pour chaque temps d'acquisition. Cette méthode prend en compte les différences interindividuelles en les maximisant, ce qui permet de repérer les sujets les plus extrêmes. Cependant, les éventuelles différences d'échelle de temps entre sujets ne sont pas considérées pour l'ensemble de la courbe.

Dans la littérature sur les jugements en continu de sons, on trouve que lorsque les résultats d'auto-corrélation des courbes de réponses des auditeurs sont faibles, les profils de réponses peuvent être moyennés sans qu'une transformation préliminaire des courbes de réponses soit nécessaire. C'est la première méthode utilisée par Hansen et Kollmeier [HK 99] pour obtenir une réponse moyenne à l'évaluation de la qualité de la parole. Une seconde méthode proposée est la transformation linéaire par z-score-transformation pour égaliser la moyenne et l'écart type des réponses entre les sujets.

Analyse en séries temporelles

Pour analyser les réponses obtenues lors de l'évaluation de l'émotion en musique, Schubert s'est intéressé à l'analyse en séries temporelles (ou chronologiques) [SCH 99a]. Les données recueillies lors d'évaluation continue, caractéristiques physiques du son (sonie, brillance...) et profils de réponse, sont assimilables à des séries temporelles puisqu'elles peuvent être définies comme étant "la succession des valeurs d'une variable ordonnées par un indicateur de temps" (définition d'une série chronologique).

Afin de relier la réponse émotionnelle aux caractéristiques musicales du stimulus évalué, une technique de régression linéaire appelée OLS (*ordinary least squares* [OST 90]) est employée. Cependant l'utilisation de ce modèle est limitée : l'hypothèse de base est que le résidu, partie des données non expliquées par le modèle, est petite et fluctue aléatoirement. Lors de la manipulation de séries temporelles, cette hypothèse est souvent violée : les résidus peuvent présenter des fluctuations temporelles périodiques dues soit à l'oubli de variables explicatives significatives, soit à une corrélation sérielle des données. Cet effet apparaît quand la réponse est affectée non seulement par des facteurs extérieurs (comme les caractéristiques physiques du stimulus) mais aussi par les valeurs passées de la réponse. D'autre part, les modèles OLS considèrent que les variables étudiées sont instantanées. Or, les réponses fournies par les auditeurs présentent des temps de réaction variables qu'il faut aussi prendre en compte.

Schubert utilise donc une procédure d'analyse des données en série temporelles : après avoir pris en compte les délais de réponse et déterminé les variables explicatives principales, les données sont analysées en plusieurs étapes avant d'aboutir à un modèle de prédiction des réponses émotionnelles à partir des variables physiques du stimulus (voir Figure 3.6). Pour plus de détails, on se référera à la thèse de Schubert [SCH 99a].

Effet de l'ordre de présentation des événements sonores

Hellbrück et al. [HFK 04] ont comparé les jugements de sonie d'une séquence de bruit de trafic routier et ferroviaire dans sa version réelle à sa version "neutralisée" (en utilisant une procédure de multiplication d'un bruit rose par l'enveloppe temporelle de la séquence réelle). Chaque séquence a été partitionnée en 80 sous-séquences, présentées dans un ordre aléatoire aux auditeurs. Il apparaît que l'ordre de présentation n'a pas d'effet sur les jugements de sonie pour les sons neutralisés. Par contre, pour les séquences réelles, dans un contexte naturel (i.e. les sous-séquences dans l'ordre), les jugements de sonie des sons de faible niveau

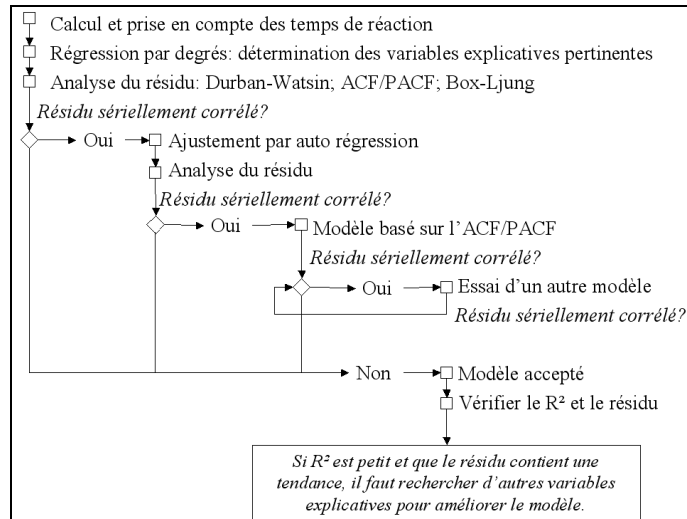


FIG. 3.6 – Procédure d'analyse des données en séries temporelles.

sonore sont légèrement plus élevés que dans un ordre aléatoire. Cela signifie donc que le contexte influence les jugements de sonie.

Effets temporels

Susini et al [SMB 02] firent évaluer en continu la sonie de sons purs (fréquence 1 kHz), dont le niveau sonore varie linéairement entre 60 et 80 dB SPL, par la méthode d'appariement intermodal (*cross-modal matching device*, CMM) [SM 00] et par une méthode analogique catégorielle. Dans les deux cas, les valeurs maximales et moyennes des réponses augmentent avec la durée de la rampe de montée de l'évènement. La Figure 3.7 présente les maxima de jugement en continu de sonie en fonction de la durée de la rampe de montée (croix) obtenus par Susini et al [SMS 05] lors d'une seconde étude sur la sonie des sons purs de rampe croissante et décroissante.

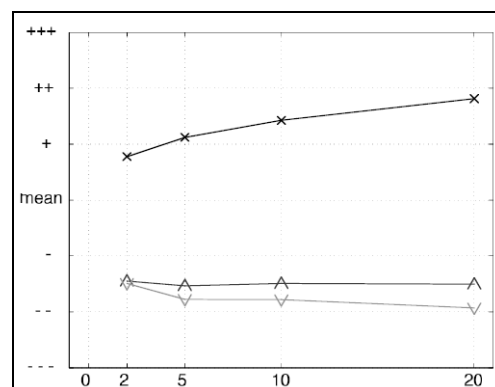


FIG. 3.7 – Maxima de jugements en continu de sonie de sons en fonction de la durée de la rampe de montée (croix). Les triangles représentent les valeurs minimales en début de rampe montante (Δ) et en fin de rampe descendante (▽). Seule l'augmentation de la valeur Max (croix) est statistiquement significative ($F(3, 14) = 14.6$; $p < 0.0001$). Figure issue de l'étude de Susini et al [SMS 05].

Susini relie cet effet au phénomène de "surcrutement" mis en évidence par Canevet et al [CS 90, CTT 03] lors d'expériences d'estimation de la sonie de la phase finale stationnaire de sons dont l'amplitude avait été augmentée : après avoir écouté le stimulus, l'auditeur fournit une estimation de la sonie de la partie finale du

signal. Il apparaît que cette dernière va être surestimée lorsque la durée de la rampe croissante de l'évènement augmente. L'importance du phénomène dépend du type d'évaluation : l'effet de surcrutement semble plus important lors d'évaluation continue [SMS 05] que pour des évaluations globales en fin de stimulus [CTT 03] ; la méthode d'évaluation continue amplifierait donc ce phénomène.

Canévet et al [CTT 03] mentionnent un effet inverse pour des rampes décroissantes de même dynamique et de même durée : la sonie d'un son pur décroissant linéairement en amplitude, mesuré à la fin de la rampe, diminue quand la durée de la rampe augmente. Ce phénomène dit de "décrutement" dépend fortement du niveau de départ, du niveau d'arrivée [SCH 92], de la durée de la décroissance linéaire [CS 90] et de la méthode d'évaluation [SCH 92, CTT 03]. Lors de l'évaluation continue de la sonie de sons variant en amplitude [SMS 05], les minima de sonie estimée en fin de rampe décroissante diminuent avec l'augmentation de la durée de la rampe de descente (voir symboles ∇ sur la Figure 3.7). Toutefois, cet effet n'est pas statistiquement significatif dans le cas de l'évaluation continue.

Pour des sons constitués d'une rampe croissante suivie d'une rampe décroissante, Susini et al [SMS 05] ont mis en évidence une asymétrie de la réponse à ces événements. La pente de la réponse à l'évaluation continue de la montée de l'évènement est plus importante que celle de la descente pour des événements courts (durée de la rampe de 2 s). Le phénomène inverse est obtenu pour des durées de rampe de 5, 10 et 20 s. Dans l'étude de Parizet et al. [PHSK 03] sur l'évaluation de l'inconfort dans un bus, on retrouve cette asymétrie : l'augmentation du niveau d'inconfort est plus rapide que sa diminution pour les événements courts (ouverture et fermeture de la porte du bus, à respectivement $t = 65$ s et $t = 75$ s sur la Figure 3.8).

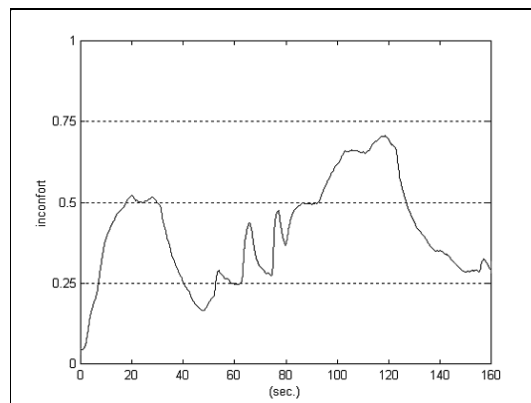


FIG. 3.8 – Réponse moyenne à l'évaluation continue de l'inconfort dans un bus, extrait de l'article de Parizet et al. [PHSK 03]. L'échelle utilisée est analogique catégorielle graduée de 0, *très confortable* à 1, *très inconfortable*.

Dans cette étude, un autre effet temporel a été mis en évidence : dans le cas de deux événements courts successifs (ouverture et fermeture de porte), le maximum d'inconfort perçu est plus important pour le second événement. Le phénomène d'asymétrie de la réponse à un événement court pourrait en être la cause : après le premier événement, le profil de réponse décroît progressivement mais n'a pas le temps de retrouver un niveau de base convenable avant le début de la réponse au second événement. De plus, l'augmentation de l'inconfort est similaire entre l'ouverture et la fermeture des portes. Deux explications peuvent être envisagées : soit la fermeture de porte est perçue comme réellement plus inconfortable que l'ouverture, soit il s'agit d'un biais dû à la présence du premier événement influençant la réponse au second. Dans ce cas, les réponses à l'évaluation continue seraient donc à considérer en amplitudes relatives plutôt qu'absolues.

3.3.4 Évaluation globale de séquences sonores de longue durée

En complément des tests d'évaluation continue, il peut être demandé à l'auditeur de fournir une note globale à la séquence qu'il vient d'écouter. L'échelle et le dispositif d'évaluation peuvent être ceux employés pour l'évaluation continue : après avoir fait évaluer en continu la sonie d'extraits de l'environnement sonore urbain à l'aide d'une échelle catégorielle, Kuwano et Namba [KN 85, KNH 97, KKKN 97] demandèrent aux sujets de réaliser un jugement global sur la même échelle à 7 catégories. Dans leur analyse, la valeur moyenne des jugements en continu obtenus avec la méthode d'évaluation continue par catégories est comparée aux résultats des jugements globaux. Sur l'ensemble des sujets, la note globale est plus élevée que la moyenne des jugements en continu. Fastl [FAS 91] a étudié la sonie de séquences sonores de trafic routier et ferroviaire par une méthode d'évaluation continue analogique (déplacement du curseur le long d'un axe). A la fin de chaque séquence, les auditeurs donnent une évaluation globale de la sonie en dessinant une ligne sur une feuille ; la longueur de la ligne représentant la sonie globale perçue. La longueur maximale de la ligne était de 10 cm sur la feuille du questionnaire. Malgré l'utilisation d'une méthode d'évaluation différente pour les jugements globaux et continus, les résultats obtenus sont similaires à ceux de Kuwano et Namba : les valeurs de sonie globale perçue sont systématiquement plus importantes que les valeurs moyennes obtenues avec l'évaluation continue.

Influence des événements de niveau sonore prédominant

Lors d'une expérience de jugements de sonie de bruits roses par la méthode d'évaluation continue et la méthode d'évaluation globale, Springer et al. [SWS 97] trouvèrent une forte variabilité des réponses à l'évaluation globale entre sujets. Un questionnaire après l'expérience a permis de mettre en évidence deux stratégies de réponses : certains sujets disaient se baser sur la moyenne de leur jugement en continu, d'autres évoquaient les passages avec de forts niveaux sonores qui avaient une influence importante sur leur évaluation globale.

Cette dernière hypothèse avait déjà été étudiée par Kuwano et Namba [KN 85]. Afin de vérifier que l'évaluation globale fournie par les auditeurs dépend principalement des événements dont les niveaux sonores sont les plus importants dans la séquence, il était demandé aux auditeurs d'évaluer des stimuli de plus courte durée (de 27 à 137 s au lieu de 20 min pour la séquence initiale). Il apparaît que quels que soit la durée et le contenu des séquences sonores, les jugements globaux ne correspondent pas à la moyenne des valeurs obtenues avec l'évaluation continue. Par contre, les jugements globaux présentent une bonne corrélation avec les résultats de l'évaluation continue lorsque la moyenne est réalisée en ne prenant pas en compte la valeur des jugements du niveau du bruit de fond. Ceci confirme donc l'hypothèse selon laquelle la sonie globale perçue est déterminée par les événements les plus forts. Fastl [FAS 91] a lui aussi testé cette hypothèse en comparant les résultats des jugements globaux aux calculs physiques de sonie partielle : en ce qui concerne le bruit de trafic routier, c'est la sonie N_4 calculée suivant la norme ISO532B qui donne la meilleure prédiction du niveau de sonie globale.

Relation entre évaluation continue et globale

Gottschling [GOT 99] s'est intéressé à la prédiction des jugements globaux à partir des résultats à l'évaluation continue. Il a testé trois méthodes de calcul :

1. Kuwano et Namba ont posé l'hypothèse que les jugements globaux se basaient sur les principaux événements forts de la séquence sonore et trouvé une bonne prédiction des jugements globaux par le calcul de sonies partielles. Gottling propose de comparer les jugements globaux aux valeurs partielles de sonie N_3 (3%) et N_5 (5%) des profils de réponses aux évaluations continues. Les valeurs partielles calculées donnent des valeurs d'évaluation globale peu élevées et les corrélations entre valeurs mesurées et calculées sont trop faibles pour que la prédiction soit valable. Les maxima des évaluations continues ne suffisent donc pas à prédire les jugements globaux.

2. Dans la deuxième méthode proposée, les profils des évaluations continues sont modifiés en appliquant une décroissance exponentielle aux événements sonores les plus élevés afin de simuler la trace mnésique laissée par les événements de fort niveau sonore (voir Figure 3.9). La valeur moyenne des évaluations continues est calculée à partir des profils ainsi modifiés. Les valeurs obtenues sont meilleures que celles prédites avec la première méthode mais il y a toujours des différences de prédictions significatives entre valeurs mesurées et valeurs calculées.
3. La troisième méthode de calcul combine les deux précédentes : après avoir appliquée une décroissance exponentielle avec une constante de temps de 10 s et 30 s, les valeurs moyennes sont calculées uniquement à partir des valeurs atteintes 5% du temps. La meilleure estimation des jugements globaux est obtenue par cette méthode avec une constante de temps de 30 s ($r = 0.821, p < 0.01$).

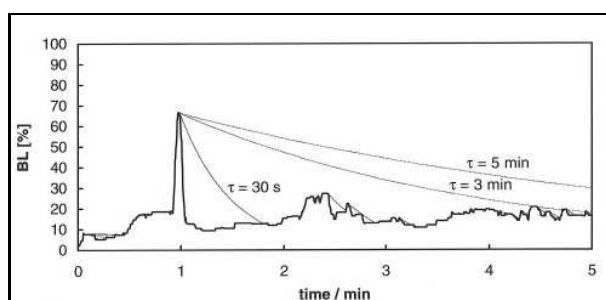


FIG. 3.9 – Profils de réponse à l'évaluation continue : original et modifiés avec décroissances exponentielles de 30 s, 3 min et 5 min.

Hellbrück et al [HKZ⁺ 01] montrèrent que, pour le bruit de trafic routier, le jugement global donné plus de cinq minutes après l'écoute de la séquence (délai nécessaire à l'auditeur pour se remémorer les principaux événements de la séquence) est très proche de la moyenne de l'évaluation continue. Par contre, lorsque celui-ci est donné juste après l'écoute (comme c'est le cas dans la majorité des études présentées), la moyenne des jugements en continu était plus faible que le jugement global. Ils montrèrent aussi que ce score de jugement global correspond à la moyenne des jugements globaux de sonie des différents événements sonores de la séquence, évalués séparément. Les stratégies des auditeurs diffèrent donc en fonction de la tâche à effectuer : les auteurs considèrent que les jugements instantanés reflètent la sensation immédiate de sonie, stockée dans la mémoire à court terme, alors que les jugements globaux correspondent à une moyenne des événements forts et faibles, rappelés de la mémoire à long terme.

Influence des événements sonores en fin de séquence, effet de récence

Ces études ([KN 85, FAS 91, GOT 99]) se basent sur l'hypothèse que les jugements globaux proviennent d'une stratégie de mémorisation à long terme des événements au niveau sonore prépondérant. Susini et Mc Adams [SUS 99, SMB 02] proposent une autre stratégie : les jugements globaux pourraient aussi se baser sur un processus de mémorisation favorisant les derniers événements sonores présents dans la séquence : l'effet de récence (voir 3.1). Dans une étude sur l'évaluation de la sonie de sons variant en amplitude [SMB 02], les sujets devaient évaluer le niveau global de séquences sonores composées de trois événements pics de niveau différents ($H=90 \text{ dB SPL}$, $M=80 \text{ dB SPL}$ et $L=75 \text{ dB SPL}$) présentés dans des ordres différents (HML , HLM , MHL , LHM , MLH , LMH). La distribution temporelle en énergie acoustique a une influence significative sur les jugements globaux : la valeur du jugement global augmente avec le déplacement de l'événement H vers la fin de la séquence. Cet effet est similaire à l'effet de récence.

Une étude de Springer et al. [SWS 97] sur la sonie de longues séquences sonores de bruit rose comportant des événements de fort niveau en début, milieu et fin de séquence n'a pas montré de différence significative du jugement global en fonction de la distribution des événements.

Effets temporels

De la même façon qu'apparaissait un effet de surcrutement pour l'évaluation de la sonie de rampes croissantes de même dynamique mais de durée variable, les scores obtenus lors de jugements globaux semblent influencés par la durée de la rampe. En étudiant la sonie de sons variant en amplitude mais de même niveau sonore, Susini et Mc Adams [SUS 99, SMB 02] ont mis en évidence que les jugements globaux obtenus augmentent avec la durée de la rampe croissante. La durée de la rampe décroissante ne semble pas voir d'influence (pas d'effet de décrutement).

Susini et al [SMS 05] ont mis en évidence une asymétrie de la réponse à l'évaluation globale entre des sons de rampe croissante et décroissante : la note globale d'un événement de rampe croissante sera plus importante que celle obtenu pour le même événement de rampe décroissante.

Influence de la tâche d'évaluation continue

Enfin, le jugement global d'une séquence sonore peut être influencé par la tâche d'évaluation continue qui le précède. Dans une étude sur l'évaluation esthétique d'une séquence musicale de 20 min (*La Bohème* de Puccini), Madsen et Coggiola [MC 01] ont trouvé que les scores globaux des auditeurs ayant effectué une évaluation continue de la séquence sonore étaient plus importants que ceux d'auditeurs ayant eu une écoute passive. Ce résultat suggère que l'attention nécessaire à la réalisation de la tâche d'évaluation continue a une influence (positive) sur les résultats de l'évaluation globale de l'aspect esthétique d'une séquence musicale.

Pour l'évaluation globale de la sonie de sons purs (1 kHz), Susini et al [SMB 02] ont montré que les jugements globaux obtenus après évaluation continue sont sensiblement les mêmes que ceux obtenus sans évaluation continue préliminaire.

Première partie

Évaluation continue du désagrément d'une séquence sonore synthétique

Introduction

L'objectif de cette première partie est l'estimation de la précision de la méthode d'évaluation continue appliquée à un caractère subjectif : le désagrément. Les études utilisant la méthode d'évaluation continue portent majoritairement sur la sonie. Il s'agit de déterminer si l'évaluation continue peut être appliquée à des stimuli de longue durée et d'enveloppe temporelle variable. Pour ce faire, il a été choisi d'utiliser des sons artificiels dont les caractéristiques pouvaient être contrôlées.

Chapitre 4

Protocole

L'objectif de cette partie est l'étude détaillée de la méthode d'évaluation continue. Des sons de timbres différents sont utilisés : leur désagrément est évalué à la fois lors d'un test de comparaison par paire (sons d'enveloppe stationnaire) et lors d'une évaluation continue (sons d'enveloppe temporelle variable).

4.1 Stimuli

Une longue séquence sonore contenant des événements variables dans le temps est élaborée. Cette séquence est constituée d'un substrat de base basses fréquences, utilisé comme bruit de fond, et de douze événements sonores courts présentés dans un ordre aléatoire. Ces événements sont créés à partir de trois sons stationnaires, modulés par quatre types d'enveloppe temporelle. Les pics d'amplitude sont extraits de la séquence afin d'être évalués dans un test de comparaison par paire. Cette section présente la génération des sons synthétiques utilisés dans l'expérience.

4.1.1 Types de sons

D'après Terhardt et Stoll [TS 81], Aures [AUR 85b] ou Zwicker [ZWI 91], la rugosité et l'acuité sont deux attributs élémentaires du son qui participent à la réduction de la sensation d'agrément et de la qualité du son. A partir de ces hypothèses, trois sons spécifiques sont générés. Deux d'entre eux sont des sons purs modulés en amplitude : le premier est un son pur de 1 kHz modulé à 70 kHz et le second un son pur de 4 kHz modulé à 50 Hz, ce qui produit une sensation de rugosité. Ces valeurs ont été choisies d'après le graphe Figure 4.1. Le troisième son est un son pur de 8 kHz sans modulation d'amplitude. Dans ce cas, c'est la sensation d'acuité qui est prédominante. En utilisant le logiciel MTS Sound Quality, un bruit aléatoire basses fréquences (20 Hz-200 Hz) est généré. Il est superposé aux trois sons précédents en tant que bruit de fond.

4.1.2 Enveloppes temporelles

Un des objectifs de ce travail est d'étudier l'influence du timbre sur la réponse de l'auditeur, mais aussi celle de l'enveloppe temporelle. Pour cela, les trois sons créés précédemment sont modulés en amplitude par quatre types d'enveloppe temporelle (voir Figure 4.2).

Les trois premiers types d'enveloppe temporelle ont des temps de montée croissants : respectivement 0.1 s (événement court, t_1), 5 s (événement moyen, t_2) et 10 s (événement long, t_3). Cette montée est suivie d'un plateau de 1 s puis d'une rapide descente (0.1 s). L'allure de t_1 est inspirée de l'enveloppe temporelle d'événements sonores réels de courte durée et à caractère impulsionnel, comme le claquement d'une portière. Celle de t_3 se rapproche de l'allure d'événements sonores au temps de montée progressif tels que l'arrivée d'un véhicule. Le type t_2 ne fait référence à aucune enveloppe réelle. Il a été élaboré dans le but d'avoir un événement

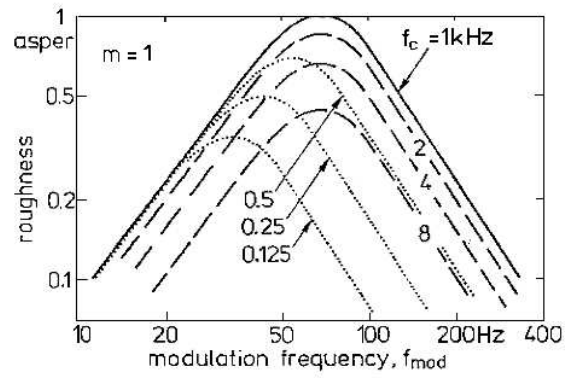


FIG. 4.1 – Rugosité d’un son pur modulé à 100% ($m=1$) de fréquence f_c en fonction de la fréquence de modulation f_m (d’après Zwicker et Fastl [ZF 99]).

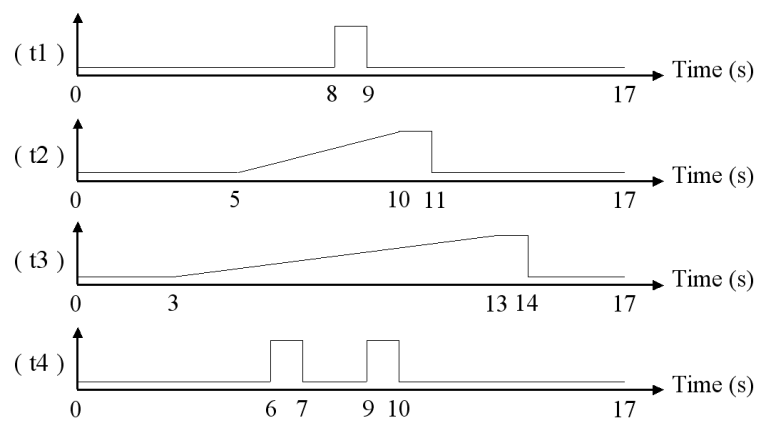


FIG. 4.2 – Les quatre types d’enveloppe temporelle : (t1) évènement court, (t2) évènement moyen, (t3) évènement long, (t4) évènement double.

au temps de montée intermédiaire entre l'évènement court $t1$ et l'évènement long $t3$.

Ces trois types d'enveloppe temporelle permettent de créer des évènements sonores qualifiés d'*évènements simples*, par opposition à ceux créés avec le dernier type d'enveloppe, $t4$, dénommés *évènements doubles* : $t4$ est constitué de deux évènements simples courts (de type $t1$), séparés par 2 s. Ce type d'enveloppe temporelle a été introduite dans l'expérience pour répondre aux questions soulevées dans l'étude de Parizet et al. [PHSK 03] sur la possible influence du premier évènement sur la réponse au second.

4.1.3 Génération de la séquence finale

Le processus de création de la longue séquence sonore est schématisé Figure 4.3. Dans un premier temps, les trois sons stationnaires décrits au paragraphe 4.1.1 sont modulés par les 4 types d'enveloppes, formant ainsi douze *évènements sonores*. Puis chaque évènement est centré dans une mini-séquence de 17 s de bruit de fond pour former douze *unités sonores élémentaires*. De cette manière, le temps le plus court séparant deux évènements consécutifs est de 6 secondes (entre deux évènements simples de type $t3$). Cette durée est considérée comme suffisante pour permettre à l'auditeur de finir l'évaluation d'un évènement avant le début du suivant.

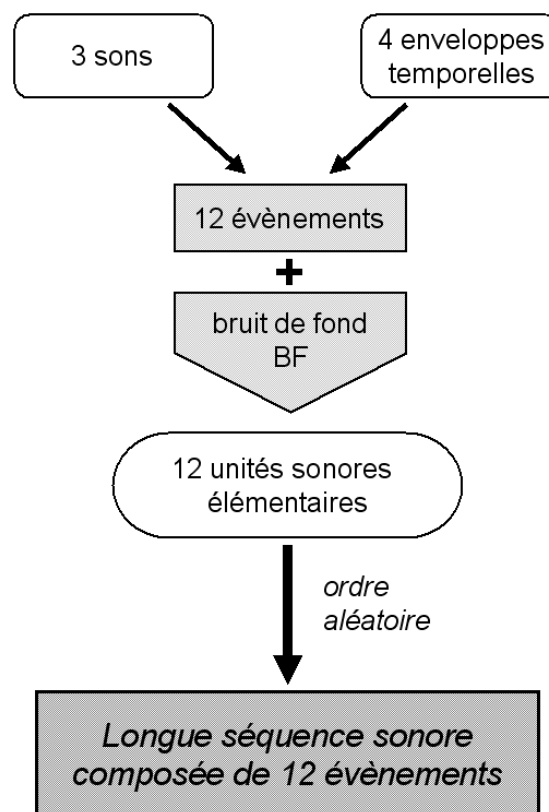


FIG. 4.3 – Génération de la séquence sonore finale.

La séquence finale est générée en assemblant les douze unités sonores élémentaires les unes aux autres. La séquence totale dure 204 s. Pour chaque auditeur, une nouvelle séquence est générée en assemblant les unités sonores dans un ordre aléatoire. Ceci permet d'éliminer les effets dus à l'ordre de présentation des évènements dans la séquence.

Les fichiers sons utilisés sont des Wave signed 16 bit, échantillonnés à 21050 Hz.

Précisions sur la construction des unités sonores élémentaires

Le mixage de l'évènement (son de base modulé en amplitude) avec les 17 s de bruit de fond pour former une *unité sonore élémentaire* a été effectué de façon à répondre à certaines conditions. Tout d'abord, lors du maximum d'amplitude d'un évènement (i.e. durant le plateau de 1 s), la sonie du son de base est équivalente à la sonie du bruit de fond : *condition A* : $N_{sondebase}/N_{bruitdefond} \cong 1$. D'autre part, on souhaite que le niveau de sonie durant le plateau soit le même quel que soit le type de son de base mixé au bruit de fond : *condition B* : $N_{sondebase} + N_{bruitdefond} = 48 \text{ soneGF}$.

D'après les diagrammes de sonie spécifique (voir Figure 4.4), la réalisation des ces deux conditions ne pose pas de problème pour les sons de base de 4 kHz modulé à 50 Hz et de 8 kHz : il n'y a pas de recouvrement des contributions du bruit de fond (basses fréquences) et du son de base (plus aigu), on a donc $N_{sondebase} + N_{bruitdefond} = N_{sondebase+bruitdefond}$.

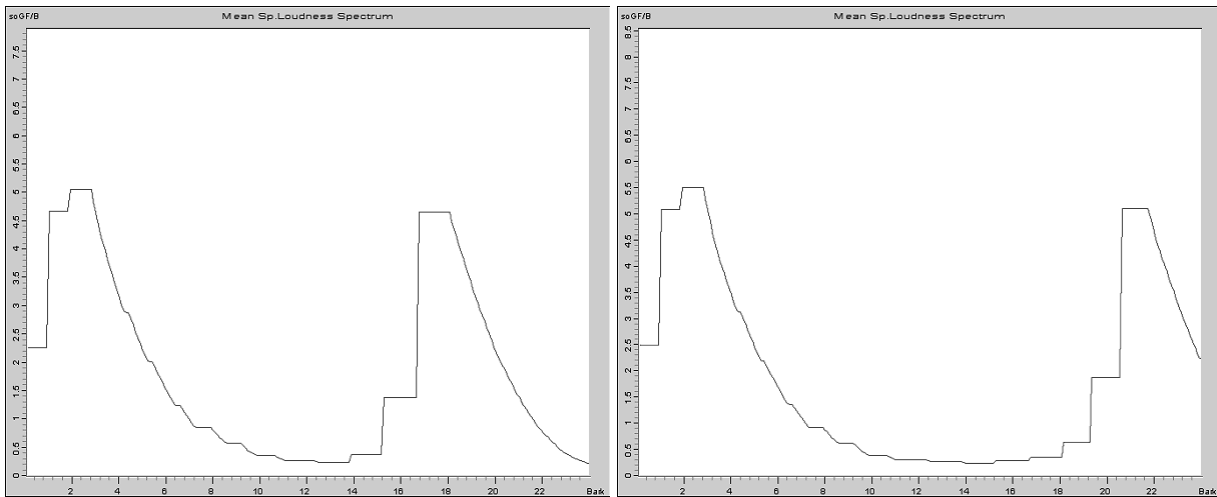


FIG. 4.4 – Diagrammes de sonie spécifique N' du son pur de 4 kHz modulé à 50 Hz, mixé au bruit de fond (à gauche) et du son pur de 8 kHz, mixé au bruit de fond (à droite). Abscisses en bark, ordonnées en soneGF/bark.

Par contre, sur le diagramme de sonie spécifique du son de 1 kHz modulé à 70 Hz, mixé au bruit de fond (Figure 4.5), il apparaît que le son aigu masque la contribution du bruit de fond basses fréquences dans les bandes critiques supérieures à 7 bark. La sonie totale du son mixé sera donc inférieure à la somme des sonies du bruit de fond et du bruit de base de 1 kHz modulé à 70 Hz. Pour que la condition B (sonie du plateau égale quel que soit le type de son mixé au bruit de fond) soit valide, la sonie du bruit de fond est augmentée. On a donc deux bruits de fond : BGm , pour le bruit de fond initial et BGM pour le bruit de fond sonie augmentée.

Le Tableau 4.1 présente les niveaux de sonie pour le mixage des trois sons de base au bruit de fond (respectivement $S1$, $S4$ et $S8$) et pour les deux bruits de fond seuls (hors évènements) (BGm , BGM). Ce tableau montre aussi les valeurs de rugosité et d'acuité calculées à l'aide du logiciel dB Sonic (01dB-Metravib) qui utilisent des modèles basés sur les travaux d'Aures [AUR 85a].

Zwicker et Fastl ont montré que la rugosité d'un son pur de 1 kHz modulé à 70 Hz de 80 dB SPL est deux fois plus importante que pour le même son à 60 dB SPL (Figure 11.4.b dans *Psycho-acoustics - facts and models* [ZF 99]). On s'attend donc à obtenir une valeur importante pour la rugosité du son mixé $S1$, de l'ordre de 2 asper. Cependant, la forte valeur obtenue est probablement due au modèle de rugosité utilisé dans le logiciel dB Sonic, différant légèrement de celui d'Aures.

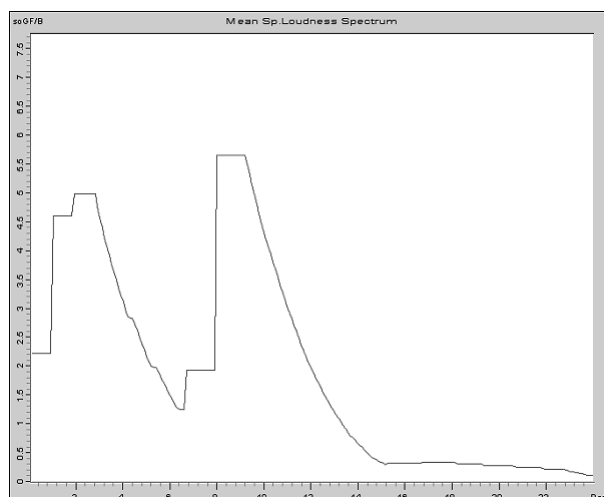


FIG. 4.5 – Diagramme de sonie spécifique N' du son pur de 1 kHz modulé à 70 Hz, mixé au bruit de fond). Abscisses en bark, ordonnées en soneGF/bark.

Type de son	SPL (dB(A))	Sonie ISO532B (sone)	Acuité (acum)	Rugosité (asper)
<i>BGm</i>	75,6	29	0,74	0,228
<i>BGM</i>	79	35,1	0,69	0,221
<i>S1</i>	85,6	48	0,85	3,448
<i>S4</i>	79,7	47,3	1,33	0,933
<i>S8</i>	83,9	47	2,24	0,215

TAB. 4.1 – Indicateurs perceptifs des sons construits pour l'étude : *S1*, *S4*, *S8* correspondent au mixage bruit "son de base + bruit de fond" durant le plateau de l'évènement. *BGm* et *BGM* correspondent respectivement aux valeurs minimale et maximale du bruit de fond pendant une *unité sonore élémentaire*.

4.2 Mise en place des sessions de tests

Chaque auditeur doit effectuer deux types de test : la moitié du jury commence par un test de comparaison par paires des sons stationnaires et l'autre moitié par l'évaluation continue de la séquence synthétique.

4.2.1 Attribut perceptif à évaluer : emploi du terme *gêne* pour évaluer le *désagrément*

Cette étude a été effectuée en laboratoire et elle porte sur des sons artificiels, sans signification. La tâche principale de l'auditeur est l'évaluation du caractère du son et non de l'effet intrusif de celui-ci lors d'une tâche donnée. D'après les éléments fournis par la littérature (présentés au Chapitre 2), c'est donc le désagrément qui a été évalué dans cette étude.

D'après Kuwano et al. [KFN 99], dans la vie de tous jours, il apparaît que le terme le plus couramment employé lors de conversations sur les désagréments liés aux bruits soit la "gêne". De plus, le jury est essentiellement composé d'auditeurs "naïfs" (par opposition à des auditeurs expérimentés) pour lesquels les descripteurs "gênant" et "désagréable" sont synonymes l'un de l'autre. Pour ces raisons, c'est donc le terme de "gêne" qui est employé dans la consigne donnée aux auditeurs (voir Annexe B.2).

4.2.2 Test de comparaison par paires

Dans un premier temps, le désagrément perçu est évalué pour chaque type de son de la séquence sonore. Un test de comparaison par paires est mis en place pour l'évaluation du désagrément de cinq sons stationnaires (3 s chacun) basés sur des extraits issus des unités sonores élémentaires. Les trois premiers extraits sont constitués de la partie stationnaire des événements, c'est à dire du plateau pour lequel l'évènement mixé au bruit de fond est à son maximum d'amplitude. Le premier son constitué du son pur à 1 kHz modulé à 70 Hz et du bruit de fond est désigné par *S1*. Le son pur de 4 kHz modulé à 50 Hz associé au bruit de fond est noté *S4* et le son pur de 8 kHz mixé au bruit de fond, *S8*. Les deux derniers sont des extraits du bruit de fond seul, pris à son niveau maximum et minimum. On les désignera par *BGM* et *BGm*.

La série de paires de sons à évaluer est établie à partir de la série de Ross [DAV 88] pour $n=5$. Pour des raisons de simplification du code, les termes utilisés pour désigner les sons vont de 1 à 5.

$$\begin{array}{ll} \text{premier terme} & 1 \quad 5 \quad | \quad 4 \quad 3 \quad 4 \quad | \quad 1 \quad 2 \quad | \quad 5 \quad 3 \quad 2 \quad | \\ \text{second terme} & 2 \quad 3 \quad | \quad 1 \quad 2 \quad 5 \quad | \quad 3 \quad 4 \quad | \quad 1 \quad 4 \quad 5 \quad | \end{array} \quad (4.1)$$

Dans le but de permettre à l'auditeur de se familiariser avec la méthode d'évaluation, d'une part, et de vérifier la fiabilité de ses réponses, d'autre part, deux paires additionnelles sont ajoutées en début de série. L'antépénultième et l'avant dernière paire sont copiées puis inversées respectivement en première et deuxième position :

$$\begin{array}{ll} \text{premier terme} & \mathbf{1} \quad \mathbf{4} \quad | \quad 1 \quad 5 \quad | \quad 4 \quad 3 \quad 4 \quad | \quad 1 \quad 2 \quad | \quad \mathbf{5} \quad \mathbf{3} \quad 2 \quad | \\ \text{second terme} & \mathbf{5} \quad \mathbf{3} \quad | \quad 2 \quad 3 \quad | \quad 1 \quad 2 \quad 5 \quad | \quad 3 \quad 4 \quad | \quad \mathbf{1} \quad \mathbf{4} \quad 5 \quad | \end{array} \quad (4.2)$$

Afin que chaque auditeur soit soumis à une série différente, un arrangement aléatoire des sons est effectué : à chaque numéro de son (1, 2, 3, 4 et 5) constituant la série sera attribué de façon aléatoire un des cinq sons à évaluer (*S1*, *S4*, *S8*, *BGM* ou *BGm*). Les séquences sonores sont jouées au casque (Sennheiser HD600) dans une salle d'écoute isolée de l'extérieur (écoute dichotique).

Lors d'une première écoute, l'auditeur découvre les cinq sons à évaluer. Cette première écoute est obligatoire. L'auditeur peut, s'il le souhaite, réécouter les sons autant de fois qu'il le désire avant de passer à la suite du test.

Pour chaque paire de sons, une fenêtre apparaît à l'écran face à l'auditeur (voir Annexe B.2). Le sujet doit écouter les deux sons composant la paire à évaluer. Après cette écoute obligatoire, le sujet doit répondre à la question "Quel est le son le plus désagréable ?". En utilisant la souris de l'ordinateur, il peut déplacer un curseur le long d'un axe à cinq graduations. Les étiquettes de l'échelle sont, de gauche à droite : *Son A beaucoup plus désagréable que le son B* ; *Son A plus désagréable que le son B* ; *Sons A et B aussi désagréables* ; *Son B plus désagréable que le son A* ; *Son B beaucoup plus désagréable que le son A*.

L'échelle est considérée comme continue : elle est pourvue de 400 points pour le positionnement du curseur, pour une longueur totale de 10 cm à l'écran. Elle est aussi catégorielle puisque graduée avec cinq labels. La validation du choix de la position du curseur n'est possible que si la paire a été écoutée au moins une fois. Lorsque la réponse est validée, une nouvelle fenêtre apparaît avec la paire suivante à évaluer. Une fois la dernière paire jugée, la fenêtre principale de test se ferme. Les résultats sont stockés dans une matrice individuelle de scores.

4.2.3 Session d'évaluation continue

La méthode d'échelle analogique catégorielle proposée par Weber [WEB 91] est retenue avec le même montage que celui utilisé par Parizet et al. [PHSK 03] (voir Figure 4.7). L'auditeur dispose d'un boîtier muni d'un curseur coulissant le long d'une échelle divisée en cinq catégories sélectionnées d'après les critères présentés par Fields et al. [FDJG⁺ 01] : *Pas du tout désagréable*, *Légèrement désagréable*, *Moyennement désagréable*, *Très désagréable* et *Extrêmement désagréable* (voir Figure 4.6).



FIG. 4.6 – Auditeur évaluant le désagrément d'une séquence sonore jouée au casque au moyen du boîtier muni du curseur coulissant le long de l'échelle graduée.

Le curseur contrôle un potentiomètre qui permet de moduler en amplitude un signal sinusoïdal de 1kHz émis par un générateur externe. La tâche de l'auditeur consiste à ajuster la position du curseur pour que sa sensation puisse être représentée par l'échelle sémantique. Le signal ainsi modulé est échantillonné et enregistré par la carte son du PC (Gina 24). Dans le même temps, la séquence audio est jouée au casque (Sennheiser HD600, écoute dichotique) par cette même carte son (voir schéma de fonctionnement Figure 4.7). Une nouvelle sé-

quence est créée pour chaque auditeur en arrangeant aléatoirement les douze unités sonores élémentaires. Ceci permet d'éliminer tout biais dû à l'effet d'ordre de présentation des événements. A la fin de l'évaluation, l'enveloppe temporelle du signal enregistré est calculée en utilisant une transformée de Hilbert puis échantillonnée à 50 Hz. Cette enveloppe représente la position instantanée du curseur.

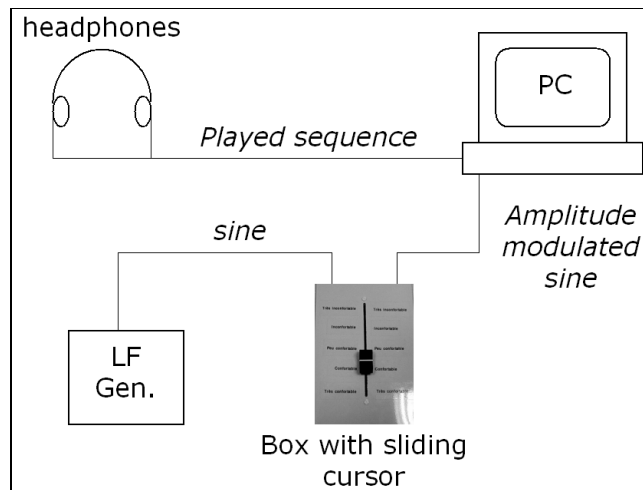


FIG. 4.7 – Montage utilisé pour l'évaluation continue.

La session d'évaluation continue se déroule en cinq étapes successives :

1. La tâche à accomplir est présentée à l'auditeur : une consigne écrite lui est fournie (voir Annexe B.2). Après l'avoir attentivement lue, il est demandé au sujet de reformuler la consigne afin de vérifier sa bonne compréhension de l'énoncé et de la tâche à effectuer.
2. Une première écoute de la séquence sonore permet à l'auditeur de se familiariser avec son contenu.
3. Durant la seconde écoute, le sujet doit évaluer le désagrément perçu en utilisant le boîtier de l'évaluation continue.
4. A la fin de cette seconde étape, il lui est demandé d'évaluer la difficulté et la durée de l'évaluation continue lors d'un court questionnaire à choix multiples (QCM) :
 - "Avez-vous trouvé ce test... 1 : très difficile, 2 : difficile, 3 : moyen, 4 : facile, 5 : très facile ?"
 - "Avez-vous trouvé ce test... 1 : très court, 2 : court, 3 : moyen, 4 : long, 5 : très long ?"
5. Lors de la dernière écoute, la séquence sonore est évaluée en continu une seconde fois.

L'objectif de cette dernière étape est multiple. D'abord, la répétabilité de la méthode de test peut être vérifiée en calculant les coefficients de corrélation entre les deux évaluations continues. C'est la seconde évaluation qui sera prise en compte lors de l'analyse des résultats : la première évaluation constitue une phase d'entraînement afin que l'auditeur apprenne à exprimer sa sensation de désagrément à l'aide du curseur. Enfin, cette dernière évaluation permet à l'auditeur de revoir son jugement s'il le désire. On considère donc que, lors de la seconde évaluation continue, la réponse de l'auditeur est plus fiable.

4.3 Auditeurs

Trente-sept auditeurs (étudiants et membres du laboratoire), 30 hommes et 7 femmes, âgés de 18 à 57 ans (moyenne 26 ans), ont participé à l'expérience. Les sujets n'ayant rapporté aucun problème auditif, aucun audiogramme n'a été effectué.

Chapitre 5

Résultats

5.1 Analyse des réponses au test de comparaison par paire

Dans un premier temps, la fiabilité des auditeurs est vérifiée en comparant individuellement les résultats obtenus pour les deux paires répétées. Pour chaque auditeur, la différence entre les scores des paires répétées ("1-5" et "4-3" en début de série) et ceux des paires correspondantes ("5-1" et "3-4" en fin de série) est calculée. Lorsque la différence de score est plus importante que la valeur de l'intervalle entre deux catégories, les résultats sont considérés comme contradictoires. Seuls sept auditeurs ont fourni une évaluation contradictoire pour l'une des deux paires répétées. Ces contradictions sont dues au fait que les paires répétées font partie de la phase d'apprentissage en début du test. A noter qu'aucun auditeur n'a donné de réponse contradictoire pour les deux paires à la fois. L'ensemble du jury est donc conservé pour le reste de l'étude. Pour les deux paires répétées, un score moyen est calculé à partir des deux évaluations fournies.

Une autre vérification de la qualité des réponses des auditeurs consiste à calculer le taux d'erreurs circulaires de chaque sujet : dans une triade de son, si le son A est préféré au son B, le son B au son C, mais que le son C est préféré au son A, alors il y a erreur circulaire. Deux auditeurs pourraient être retirés de l'étude (taux d'erreurs circulaires supérieur à 30%) mais un rapide calcul permet de montrer que les scores avec et sans ces auditeurs ne présentent pas de différence statistiquement significative. L'ensemble des 37 auditeurs est donc conservé pour la suite de l'analyse.

Les scores de désagrément perçu sont ensuite calculés : une matrice de préférence moyenne est obtenue en faisant la moyenne des matrices de réponses individuelles. Les scores sont obtenus grâce à un modèle de Thurstone (cas V) [THU 27a, THU 27b] : ce modèle permet de construire une échelle d'intervalles à partir des comparaisons des paires (échelle similaire à celle des résultats obtenus lors de l'évaluation continue). Ces valeurs ainsi que leurs intervalles de confiance à 95% sont présentés Figure 5.1. Les écart-types sont calculés par une méthode de bootstrap puis traduits en intervalles de confiance. Le modèle de Thurstone fournit initialement des valeurs entre -1 et 1. Les scores ont été transformés pour être représentés sur une échelle allant de 0 à 1, échelle comparable à celle de l'évaluation continue.

Les auditeurs évaluent le son *S8* comme le plus désagréable : sa valeur est comprise entre 0.75 et 1. *S1* et *S4* obtiennent des scores proches de 0.5. Les deux bruits de fond, *BGm* et *BGM*, obtiennent des scores similaires, proches de 0.25. La différence entre les deux n'étant significative, seul le score du bruit de fond maximal (*BGM*) sera utilisé dans la suite de l'analyse.

Les résultats du test de comparaison par paires sont ensuite comparés à différents indicateurs perceptifs : niveau de pression en dB(A), sonie, acuité, rugosité ou force de fluctuation. Aucune corrélation statistiquement

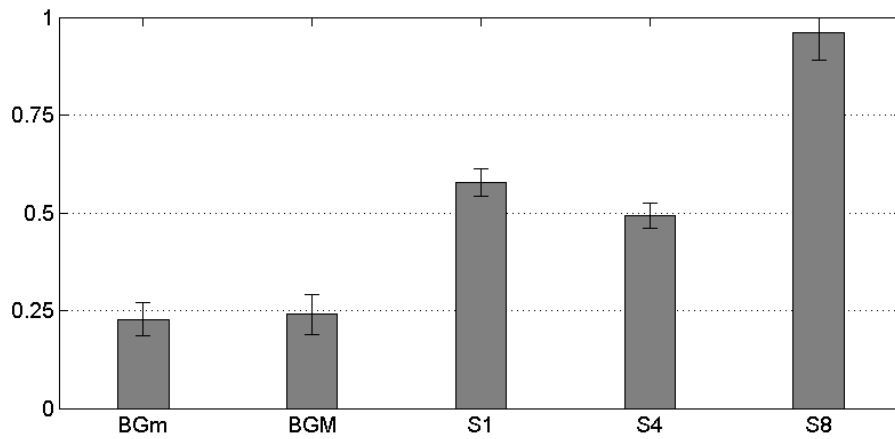


FIG. 5.1 – Scores moyens de désagrément des cinq types des sons évalués par la méthode du test de comparaison par paire avec intervalles de confiance à 95%.

significative n'est obtenue. La gêne évaluée ici n'est pas liée uniquement à la sonie puisque des scores de désagrément similaires sont obtenus pour des sons de sonies différentes (*BGm* et *BGM*), et inversement, des sons de sonie équivalente obtiennent des scores différents (*S1*, *S4* et *S8*).

Les résultats sont ensuite comparés à des modèles prédictifs du désagrément : les modèles 1 et 2 de désagrément de Terhardt et Stoll [TS 81] (W^-), de gêne non biaisée (*Unbiased Annoyance*, UBA [ZF 99]) ont été calculés pour les cinq sons testés. Le modèle de gêne psychoacoustique (*Psychoacoustic Annoyance*, PA [WID 97]) ne peut être appliqué : l'acuité de *S1* et *S4* est inférieure à 1,75 acum et ne permet donc pas de calculer la contribution de l'acuité au modèle (voir équation 2.12). Les valeurs de désagrément produites par les différents modèles et leur coefficient de corrélation avec les scores du test par paires sont présentés Tableau 5.1.

Type de son	W^- (modèle 1)	W^- (modèle 2)	UBA_{jour}	UBA_{nuit}
<i>BGm</i>	0,498	0,776	79	279
<i>BGM</i>	0,497	0,776	102	386
<i>S1</i>	2,712	1,944	169	715
<i>S4</i>	1,829	1,381	187	778
<i>S8</i>	4,847	2,202	253	1056
R	0,997***	0,946*	0,964**	0,960*

*** $p < 0.001$ ** $p < 0.01$ * $p < 0.05$

TAB. 5.1 – Calculs de modèles de désagrément pour *S1*, *S4*, *S8*, *BGm* et *BGM*. R est le coefficient de corrélation entre valeurs du modèle et scores du test par paire.

Les quatre modèles permettent de retrouver la hiérarchie de désagrément entre les cinq sons obtenue avec le test de comparaison par paires. Le modèle prédictif le plus adapté est le premier modèle de Terhardt et Stoll, basé uniquement sur la prise en compte de la rugosité et de l'acuité ; il s'agit des deux paramètres perceptifs qui ont servi à la construction des sons de l'expérience (voir section 4.1.1). D'autre part, la sonie des sons *S1*, *S4* et *S8* ayant été égalisée, ceci confirme l'influence de ces deux indicateurs perceptifs sur l'évaluation du désagrément. Les *UBA*, créés pour estimer la gêne de sons réels, fournissent une estimation correcte de la gêne perçue de sons synthétiques.

5.2 Analyse des réponses à l'évaluation continue

5.2.1 Faisabilité de la tâche

La capacité des auditeurs à évaluer de façon fiable le désagrément induit par des événements variables dans le temps à l'aide du curseur gradué est le principal pré requis dans l'utilisation de la méthode d'évaluation continue. La faisabilité de la tâche et la fiabilité des auditeurs sont évaluées à partir des réponses au QCM et des coefficients de corrélation calculés entre les réponses aux deux évaluations continues.

Les réponses au QCM sont présentées Figure 5.2. La méthode d'évaluation continue est perçue comme assez facile (5.2 a). En ce qui concerne la durée du test (5.2 b), les auditeurs l'ont évaluée comme "courte" ou "moyenne". Aucun auditeur ne l'a perçue comme "très longue".

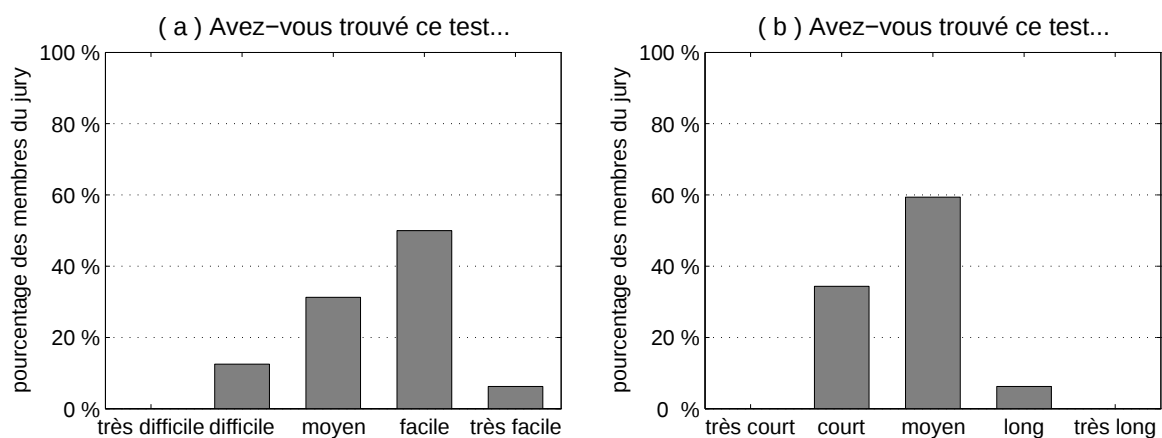


FIG. 5.2 – Réponses aux questionnaire sur la difficulté (a) et la durée de la tâche à accomplir (b).

En s'intéressant aux profils de réponse individuels, il apparaît que cinq auditeurs n'ont pas accompli la tâche de façon adéquate : soit ils n'ont pas compris les instructions, soit ils n'ont pas su utiliser le curseur comme requis. Ils sont retirés de l'étude et le jury est réduit à 32 auditeurs.

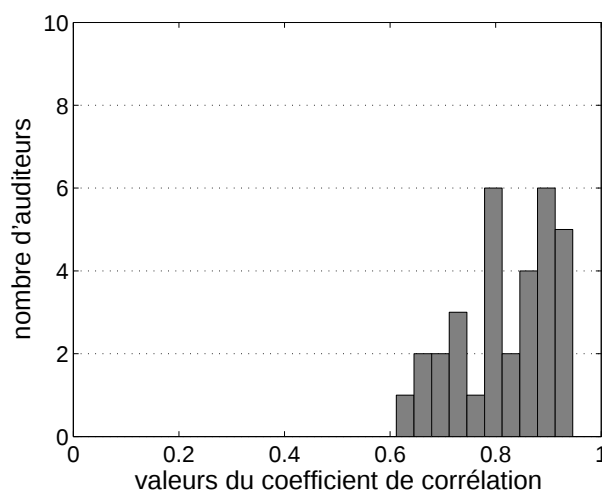


FIG. 5.3 – Distribution des coefficients de corrélation entre les réponses aux deux évaluations continues (panel de 32 auditeurs).

Dans certaines études sur l'évaluation continue (voir section 3.3.1), les auteurs caractérisent la répétabilité des réponses en calculant le coefficient de corrélation entre deux réponses données par un même sujet. Les coefficients de corrélation sont donc calculés pour chaque auditeur, entre la première et la deuxième réponse à l'évaluation continue (voir Figure 5.3). Il apparaît que, pour tous les auditeurs conservés, les valeurs obtenues sont supérieures à 0.6.

Par la suite, seules les réponses de la deuxième évaluation seront analysées : comme vu au paragraphe 4.2.3, la réponse de l'auditeur est considérée comme plus fiable lors de cette dernière évaluation.

5.2.2 Plusieurs façons de répondre en continu

Une attention particulière est portée aux courbes de réponses individuelles à l'évaluation continue. L'interprétation de la tâche à accomplir et l'utilisation de l'échelle analogique/catégorielle varient suivant les auditeurs. Dans cette section, nous avons tenté d'identifier certaines façons de répondre. Nous nous sommes d'abord intéressés à l'allure globale des réponses des auditeurs. En regardant simplement les allures des courbes de réponses, quatre types de réponses ont été identifiées. La Figure 5.4 présente quatre exemples illustrant ces quatre types de réponses.

Premier type de réponse : niveau de base constant et nul Pour cinq sujets, le niveau de désagrément du bruit de fond est nul durant toute l'évaluation. Ainsi, n'émergent que les pics relatifs aux évaluations des événements (voir Figure 5.4 (a)).

Deuxième type de réponse : niveau de base constant Neuf auditeurs semblent avoir considéré que le désagrément perçu du bruit de fond est constant tout le long de la séquence sonore : Figure 5.4 (b).

Comme pour le premier type de réponse, on peut supposer que les auditeurs ont compris que le bruit de fond était toujours le même. Cette stabilité dans l'évaluation du bruit de fond est donc une sorte de biais : les auditeurs se concentrent sur les événements.

Troisième type de réponse : niveau de base croissant Six sujets ont donné une réponse avec une allure globale croissante (Figure 5.4 (c)). Le bruit de fond a été perçu comme de plus en plus désagréable. L'évaluation des maxima des événements augmente aussi au fur et à mesure de la séquence. Pour de tels auditeurs, le désagrément des événements serait probablement représenté de façon plus précise en utilisant des niveaux d'amplitude relatifs plutôt qu'absolus. C'est à dire en utilisant la différence entre le maximum de désagrément que l'auditeur attribue à l'événement et son évaluation du niveau de désagrément du bruit de fond avant et après l'événement comme valeur de désagrément relative à l'événement.

Il est à noter qu'aucune tendance inverse n'est observée : aucun auditeur n'a fourni de réponse dont le désagrément du bruit de fond décroissait au fur et à mesure de la séquence.

Quatrième type de réponse : niveau de base aléatoire Le dernier type de réponse ne montre pas d'allure particulière : les douze auditeurs ont probablement pris en compte le désagrément du bruit de fond sans chercher à retrouver un niveau précis après chaque événement (Figure 5.4 (d)). Dans ce cas, les scores de désagrément pour un événement donné serait plutôt à considérer en niveau relatif plutôt qu'en niveau absolu.

De nombreuses tentatives pour classer les réponses des auditeurs ont été effectuées : de nombreuses classifications hiérarchiques des réponses des auditeurs ou de leur spectres temporels ont été effectuées, mais aucune de ces démarches n'a mené à une classification satisfaisante.

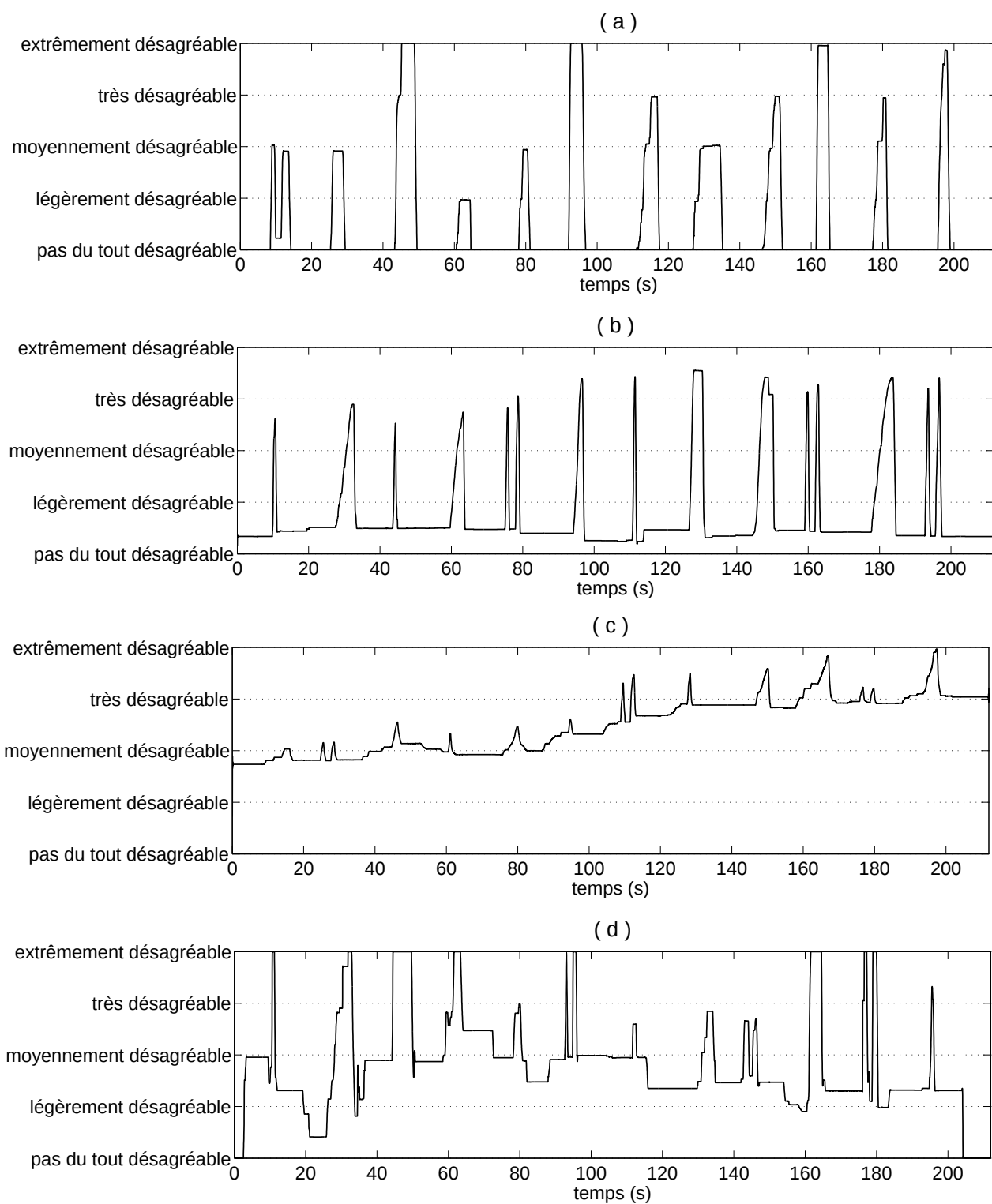


FIG. 5.4 – Quatre façons de répondre à l'évaluation continue du désagrément.

5.2.3 Scores moyens du désagrément des sons évalués

Après cette analyse d'ensemble des réponses à l'évaluation continue, une étude détaillée des réponses aux douze événements sonores est effectuée. Pour chaque événement de chacune des réponses d'un auditeur, cinq données spécifiques sont collectées :

- le maximum de la réponse de l'auditeur à l'évènement,
- les valeurs de désagrément du niveau du bruit de fond avant et après l'évènement,
- le moment précis pour lequel l'auditeur commence à réagir à l'évènement,
- le moment précis pour lequel l'auditeur finit de réagir à l'évènement.

Ces informations sont regroupées dans une base de données indexée en fonction du type de son et du type d'enveloppe temporelle.

Pour chaque type de son, *S1*, *S4*, *S8* et *BG*, les scores de désagrément sont calculés en effectuant la moyenne des maxima d'amplitude des réponses des auditeurs. Il s'agit d'un calcul en amplitude absolue. Les résultats sont représentés sur la Figure 5.5 par les histogrammes gris clair. Le son *S8* est évalué comme le plus désagréable, suivi respectivement par *S1* et *S4*. Le bruit de fond *BG* obtient le score le plus faible. Les différences de scores entre les quatre types de son sont statistiquement significatives (test T de Student, échantillons appariés : $p < 0.01$).

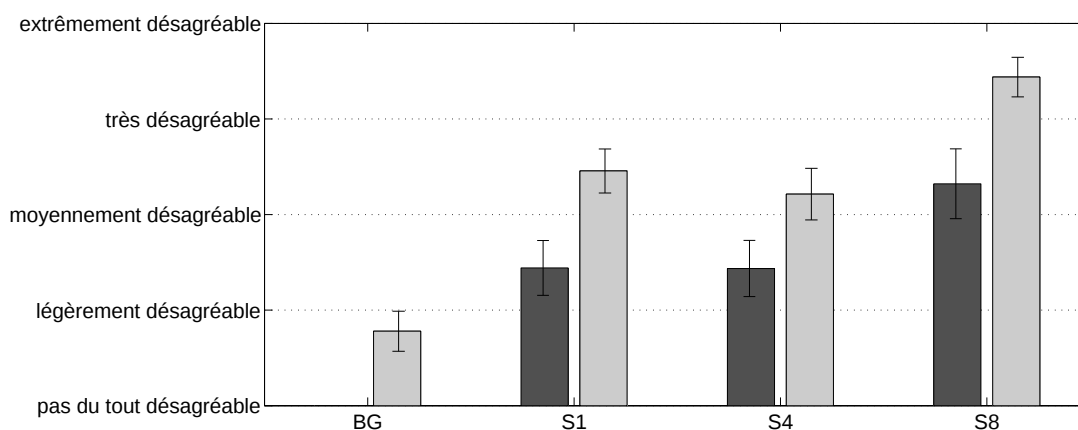


FIG. 5.5 – Scores moyens de désagrément des quatre types de son évalués par la méthode d'évaluation continue (*S1*, *S4*, *S8* et *BG*), en amplitude absolue (histogrammes gris clair) et en amplitude relative (histogrammes gris foncé), avec leurs intervalles de confiance à 95%.

Les façons de répondre de 18 auditeurs (voir section 5.2.2) incitent à penser que le calcul des scores en amplitude relative pourrait être plus pertinent qu'en amplitude absolue. Pour chaque événement, une amplitude relative est calculée en déduisant de l'amplitude maximale du désagrément, la valeur moyenne du désagrément du bruit de fond avant et après l'évènement. Une moyenne est ensuite calculée par type de son : les résultats sont présentés sur la Figure 5.5 par les histogrammes gris foncé. Le son *S8* est évalué comme le plus désagréable devant *S1* et *S4*. La différence de scores relatifs est statistiquement significative (test T de Student, échantillons appariés : $p < 0.01$), sauf entre *S1* et *S4* ($t(36) = 0.075$; $p = 0.941$).

Contrairement aux résultats du test par paires ou aux scores moyens en amplitude absolue, la différence de désagrément perçu entre ces deux types de sons n'apparaît pas. Cette représentation semble donc moins appropriée pour l'analyse du désagrément perçu. D'autre part, les analyses suivantes ont été effectuées avec les deux types de scores moyens ; celles en amplitude absolue se sont révélées être les plus discriminantes d'un

point de vue statistique. La représentation des scores en valeurs relatives est donc abandonnée.

Comparaison avec les scores du test de comparaison par paire

Les scores du test par paires et de l'évaluation continue sont représentés conjointement sur la Figure 5.6. L'échelle numérique du test de comparaison par paires et l'échelle analogique catégorielle sont confondues : elles vont de 0 : *pas du tout désagréable* à 1 : *extrêmement désagréable*. Les résultats des classifications sont identiques pour les deux types de méthodes : le son *S8* (son pur de 8 kHz mixé au bruit de fond) est considéré comme le plus désagréable, suivi respectivement par *S1* et *S4*, le bruit de fond étant évalué comme le moins désagréable. Ceci montre que la méthode d'évaluation continue permet d'obtenir une hiérarchie du désagrément fiable pour différents types de sons.

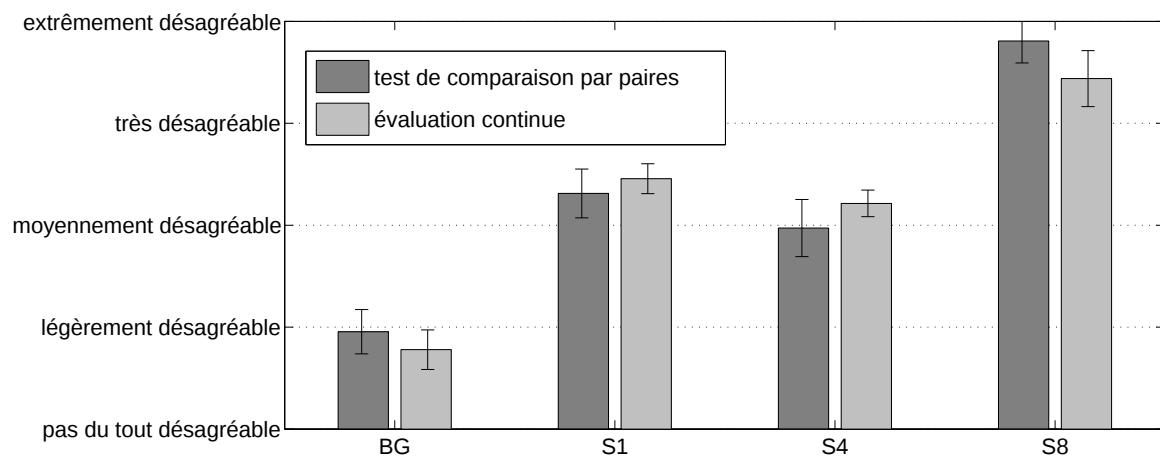


FIG. 5.6 – Scores moyens de désagrément des quatre types de son évalués par le test de comparaison par paires (histogrammes gris foncé) et par la méthode d'évaluation continue, en amplitude absolue (histogrammes gris clair) avec leurs intervalles de confiance à 95%.

5.2.4 Influence de l'enveloppe temporelle sur le niveau de désagrément perçu

L'analyse suivante des résultats consiste à étudier l'influence de l'enveloppe temporelle sur l'évaluation des auditeurs. Plus précisément, pour les seuls événements simples ($t1$, $t2$ et $t3$), il s'agit de vérifier que le temps de montée de l'enveloppe temporelle a une influence sur les réponses des auditeurs. L'ensemble des valeurs du désagrément perçu sont extraites des réponses individuelles (voir 5.2.3) et examinées par analyse de la variance ¹ (mesures répétées) afin d'évaluer l'influence relative du type de son et du type d'enveloppe temporelle sur le désagrément.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 5.2. Pour les événements simples, l'influence du timbre est prédominante ($F(2, 29) = 72.041, p < 0.001$). Celle de l'évolution temporelle est significative ($F(2, 29) = 24.635, p < 0.001$) même si elle reste de moindre importance comparée à celle du timbre. Ce phénomène se retrouve sur la Figure 5.7 : plus le temps de montée de l'évènement croît, plus le désagrément évalué au maximum de l'évènement est important. Entre l'évènement court $t1$ à la rampe de montée très rapide et l'évènement long $t3$ à la rampe de montée de 10 s, les niveaux de désagrément augmentent en moyenne d'une demi catégorie sur l'échelle analogique catégorielle.

¹DoF : Degrés de Liberté, SS : Somme des carrés, MS : Carré moyen et F : Variable de test Fisher-Snedecor

Sources de variation	DoF	SS	MS	F
A	31	5.751	0.186	
TS	2	5.045	2.523	72.041***
TS x A	62	2.171	0.0350	
ET	2	1.039	0.519	24.635***
ET x A	62	1.307	0.0211	
TS x ET	4	0.0443	0.0111	0.985
Residu	124	1.582	0.0128	
Total	287	16.752	0.0584	

*** $p < 0.001$

TAB. 5.2 – Analyse de la variance du désagrément perçu pour les évènements simples. A : Auditeurs, TS : Type de son et ET : Enveloppe temporelle.

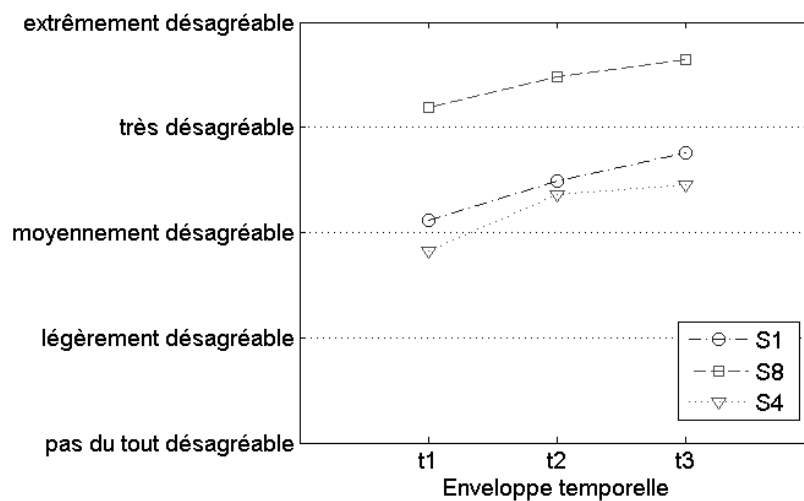


FIG. 5.7 – Désagrément perçu pour les trois types de sons ($S1$, $S4$ et $S8$) et pour les trois types d'enveloppes temporelles simples ($t1$, $t2$ et $t3$).

Un phénomène similaire, le *surcrutement* (voir 3.3.3) a été mis en évidence dans une précédente étude sur l'estimation de la sonie de sons purs à 1 kHz (Susini et al. [SMS 05]) : pour une dynamique identique, les valeurs obtenues augmentent avec l'augmentation de la durée de la rampe de montée de l'évènement (voir Figure 3.7). Ces résultats sont obtenus en utilisant le même type d'échelle que celui de la présente étude, mais avec sept catégories allant de "très très faible" à "très très fort". L'augmentation du niveau de sonie estimé entre un évènement au temps de montée court (2 s) et un évènement au temps de montée plus long (10 s) est d'environ d'une demi catégorie.

D'autre part, comme on peut le constater sur la Figure 5.7 et dans le Tableau 5.2, aucune interaction significative n'apparaît entre les deux facteurs principaux (timbre et enveloppe temporelle).

L'analyse des valeurs du bruit de fond ne montre pas de différence statistiquement significative entre les niveaux de désagrément avant et après chaque évènement.

Pour l'évènement double *t4*, les amplitudes maximales des deux pics ainsi que la valeur du bruit de fond avant et après chaque pic sont récupérées et indexées en fonction du type de son et du numéro du pic (1 ou 2). Une comparaison des réponses aux deux pics de l'évènement n'est possible que lorsque la réponse des auditeurs est détectable pour les deux pics, c'est à dire pour 26 auditeurs. Une première analyse ne révèle pas de différence statistiquement significative entre les niveaux de bruit de fond avant, entre et après les pics. Ce résultat est similaire à celui obtenu pour les évènements simples.

Une seconde analyse a mis en évidence une différence significative entre les valeurs maximales des deux pics (test T de Student, mesures répétées : $t(85)=3.378, p<0.01$). Une analyse de la variance a montré que le type de son avait, comme pour les évènements simples, une influence significative sur le désagrément perçu ($F(2, 50) = 29,887; p < 0.001$). L'influence du pic (première ou deuxième position) est moindre ($F(1, 25) = 6,194; p < 0.05$). Sur la Figure 5.8, les niveaux de désagrément sont très légèrement plus importants pour le second pic de l'évènement que pour le premier. Cette différence correspond à une augmentation de 1/10 de catégorie sur l'échelle utilisée.

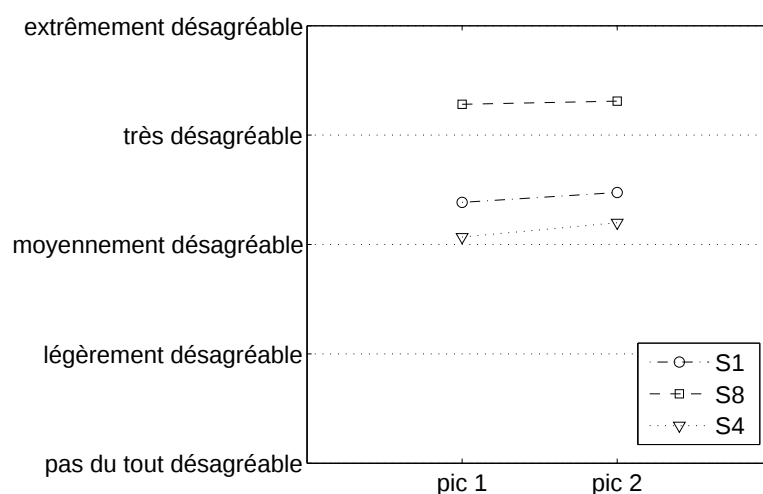


FIG. 5.8 – Désagrément perçu pour les deux pics de l'évènement double *t4* en fonction des trois types de son S1, S4 et S8.

Parizet et al [PHSK 03] avaient noté une augmentation entre les niveaux d'inconfort perçu de deux évène-

ments courts consécutifs : entre l'ouverture et la fermeture de la porte du bus, séparées de 10 s, le niveau moyen augmente d'1/6ème de catégorie de l'échelle analogique catégorielle à 5 catégories.

5.2.5 Résultats complémentaires

Des analyses de la variance (mesures répétées) ont été effectuées avec d'autres données et d'autres facteurs. Seuls les résultats statistiquement significatifs sont présentés ici.

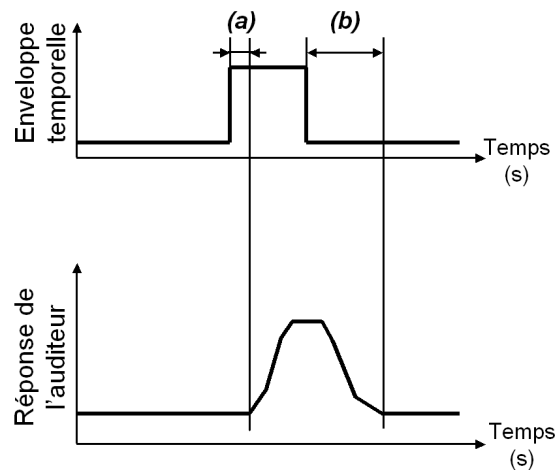


FIG. 5.9 – Définition des données temporelles : (a) temps de réaction et (b) temps de relaxation.

Les données extraites des réponses à l'évaluation continue permettent de calculer deux données temporelles qui caractérisent la réponse d'un auditeur à un évènement donné :

- Le *temps de réaction* est défini comme le temps écoulé entre le début de l'évènement et une modification de la réponse de l'auditeur à l'évaluation : Figure 5.9(a).
- Le *temps de relaxation* est défini comme le temps écoulé entre la fin de l'évènement et le temps pour lequel la réponse de l'auditeur retrouve un niveau constant : Figure 5.9(b).

Analyse des temps de relaxation

Les temps de relaxation pour les évènements simples sont calculés pour évaluer l'influence du temps de montée de l'enveloppe temporelle sur la réponse des auditeurs. Pour ce calcul, cinq auditeurs sont écartés de l'étude : l'allure de leur réponse ne permet pas de calculer le temps de relaxation (le temps pour lequel la réponse de l'auditeur retrouve un niveau constant n'est pas identifiable).

Les résultats de l'analyse de la variance effectuée sont présentés dans le Tableau 5.3. L'enveloppe temporelle semble être le seul paramètre influent ($F(2, 25) = 5.098, p < 0.01$). Figure 5.10, le temps de relaxation est représenté pour chaque type de son et chaque type d'enveloppe temporelle. Pour le son de type *S8*, on observe une nette allure croissante : plus le temps de montée de la rampe de l'évènement augmente, plus le temps de relaxation est important. Mais l'évolution des temps de relaxation pour les deux autres types de sons (*S1* et *S4*) n'est pas aussi évidente et ne permet pas de tirer de conclusion générale.

Sources de variation	DoF	SS	MS	F
A	27	40.8	1.511	
TS	2	0.196	0.0982	0.192
TS x A	54	27.606	0.511	
ET	2	6.243	3.121	5.098**
ET x A	54	33.064	0.612	
TS x ET	4	3.732	0.933	1.838
Residu	108	54.826	0.508	
Total	251	166.467	0.663	

** $p < 0.01$

TAB. 5.3 – Analyse de la variance du temps de relaxation (événements simples). A : Auditeurs, TS : Type de son et ET : Enveloppe temporelle.

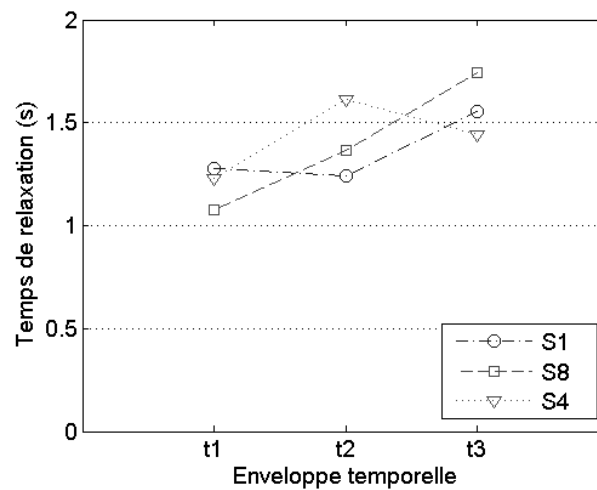


FIG. 5.10 – Temps de relaxation pour les trois types de sons ($S1$, $S4$ et $S8$) et les trois types d'enveloppes temporelles simples ($t1$, $t2$ et $t3$).

Dans un deuxième temps, les temps de relaxation sont récupérés pour les deux pics de l'évènement double t_4 . Le jury est réduit aux 26 auditeurs pour lesquels les temps de relaxation peuvent être clairement détectés dans les réponses.

Les résultats de l'analyse de la variance sont présentés dans le Tableau 5.4 : il y a une différence statistiquement significative du temps de relaxation entre les réponses aux deux pics de l'évènement double ($F(1, 24) = 12.217, p < 0.01$). Une interaction moins significative apparaît entre les deux facteurs ($F(2, 24) = 3.802, p < 0.05$). Comme présenté sur la Figure 5.11, le temps de relaxation est plus court lors de la réponse au second pic, excepté pour le type de son S_8 pour lequel il reste constant. Malgré une allure globale décroissante, aucun lien n'a pu être mis en évidence entre le temps de relaxation et l'enveloppe temporelle. Cette tendance globale peut cependant être expliquée par le fait que l'auditeur est moins surpris par la fin du second évènement que par celle du premier ; la réponse au premier évènement est moins rapide.

Sources de variation	DoF	SS	MS	F
A	25	11.979	0.479	
TS	2	0.269	0.135	0.896
TS x A	50	7.522	0.150	
P	1	1.427	1.427	12.217**
P x A	25	2.920	0.117	
TS x P	2	0.515	0.258	3.802*
Residu	50	3.387	0.0677	
Total	155	28.020	0.181	

** $p < 0.01$ * $p < 0.05$

TAB. 5.4 – Analyse de la variance du temps de relaxation (évènement double t_4). A : Auditeurs, TS : Type de son et P : Pic (1er ou 2e).

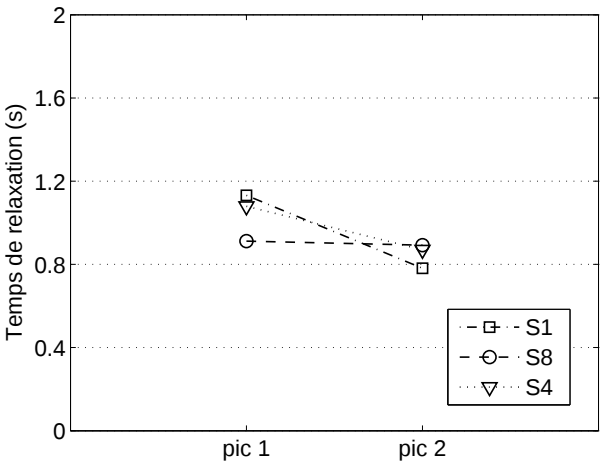


FIG. 5.11 – Temps de relaxation pour les deux pics de l'évènement double t_4 en fonction des trois types de sons (S_1 , S_4 et S_8).

Analyse des temps de réaction

Les temps de réaction sont calculés uniquement pour les événements $t1$ et $t4$. En effet, pour les deux autres types d'enveloppes temporelles $t2$ et $t3$, le moment précis auquel l'auditeur réagit à la rampe de montée de l'évènement n'est pas aisément identifiable. On s'intéresse donc à la différence possible entre les temps de réaction aux deux pics de l'évènement double $t4$. Le jury est alors réduit aux 25 sujets dont la réponse présente une réaction aux deux pics de l'évènement.

Sources de variation	DoF	SS	MS	F
A	24	1.428	0.0595	
TS	2	0.0677	0.0338	1.264
TS x A	48	1.284	0.0268	
P	1	1.319	1.319	41.101***
P x A	24	0.770	0.0321	
TS x P	2	0.0285	0.0142	0.890
Residu	48	0.768	0.0160	
Total	149	5.665	0.0380	

*** $p < 0.001$

TAB. 5.5 – Analyse de la variance du temps de réaction (évènement double $t4$). A : Auditeurs, TS : Type de son et P : Pic (1er ou 2e).

Les résultats de l'ANOVA (voir Tableau 5.5) prouvent qu'il y a une différence statistiquement significative ($F(2, 22) = 41.101, p < 0.001$) entre les temps de réaction aux deux pics. Ceci est illustré sur la Figure 5.12 sur laquelle les temps de réaction sont représentés. Une tendance globale décroissante est observée pour les trois types de sons : le temps de réaction au second pic est deux fois plus petit que pour le premier pic. C'est le même phénomène que celui observé pour le temps de relaxation : l'auditeur est moins surpris lors de l'apparition du second évènement que lors de l'apparition du premier. En conséquence, son temps de réaction est plus court.

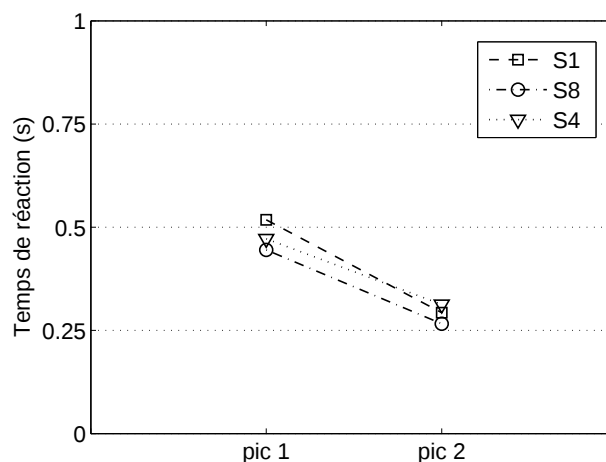


FIG. 5.12 – Temps de réaction pour les deux pics de l'évènement double $t4$ pour les trois types de sons ($S1$, $S4$ et $S8$).

Le temps de réaction à un évènement court varie donc entre 0.25 et 0.5 s, ce qui est en deçà des temps de

réaction estimés dans la littérature (de l'ordre de 1 s pour les évaluations de sonie [KN 85, NKF⁺ 04, SM 00] et de 1.9 s pour l'agrément [PHSK 03]). Cette différence peut d'abord s'expliquer par le stimulus évalué. Dans les études citées, il s'agit de séquences réelles, composées d'événements sonores de contenu et de durées variables (passage de véhicules, ouvertures de portes). Dans notre étude, il s'agit d'événements sonores synthétiques, sans signification. Il se peut que le processus d'évaluation du désagrément soit réduit puisque l'étape d'identification de la source n'existe plus. Une autre hypothèse réside dans la connaissance qu'ont les auditeurs des événements composant la séquence : lors de la 2ème évaluation d'où sont extraites les données, les auditeurs s'attendent à l'apparition d'événements de courte durée. Ils sont donc probablement plus réactifs lorsque ceux-ci se produisent. Néanmoins, il semble plus probable que cette différence provienne de la méthode de calcul utilisée : dans les études précitées, le temps de réaction correspond au décalage entre réponse de l'auditeur et niveau sonore pour lequel le coefficient de corrélation est maximum. Il s'agit donc d'un temps de réaction moyen. Dans la présente étude, le temps de réaction est mesuré directement pour chaque événement. L'estimation est donc plus précise.

D'autres analyses ont été réalisées sur les événements simples : différence de désagrément du bruit de fond évalué avant et après l'événement. . .Aucune relation significative n'a pu être mise en évidence, entre certains facteurs (timbre, enveloppe temporelle) et d'autres valeurs.

Asymétrie temporelle de la réponse

La différence moyenne entre temps de réaction et temps de relaxation à l'événement court est statistiquement significative (test T de Student : $t(83)8.417, p < 0.001$ $\Rightarrow$) est vaut 0.68 s (écart type de 0.75). La réponse des auditeurs présente donc une asymétrie similaire à celle observée par Susini et al [SMS 05] et Parizet et al [PHSK 03] pour des événements aux temps de montée très court.

Conclusion

Le principal résultat de cette étude est que la méthode d'évaluation continue est utilisable pour évaluer le désagrément de longues séquences sonores. Les scores moyens de désagrément obtenus sont très proches des scores issus du test de comparaison par paires, procédure test de référence.

Toutefois, des biais ont été mis en évidence : l'évaluation d'événements désagréables émergeant progressivement du bruit de fond est influencée par le temps de montée de ces événements. Il s'agit d'un phénomène similaire au phénomène de *surcrutement* [CTT 03, SMS 05] qui apparaît lors de l'évaluation de la sonie de sons au temps de montée croissant. Il semblerait que les auditeurs répondent inconsciemment comme s'ils devaient suivre la montée de l'évènement alors que la tâche demandée est l'évaluation du désagrément perçu.

Une correction de ces évaluations en fonction du taux de montée a été envisagée : les analyses de la variance réalisées fournissent un certain nombre d'informations sur la façon dont une correction peut être réalisée. Mais dans le cas d'une séquence sonore réelle, une telle correction est difficilement applicable : dans un enregistrement de bruits de trafic routier, comment déterminer, parmi l'abondant flux de données auditives, quels sont les événements pris en considération par l'auditeur ?

Une autre piste d'amélioration concerne le classement des auditeurs en fonction de l'allure globale de leur réponse. Dans cette étude, quatre groupes ont été identifiés visuellement. Il n'a cependant pas été possible de poursuivre l'analyse, les séquences soumises aux auditeurs étant différentes pour chacun (unités sonores élémentaires assemblées dans un ordre aléatoire). Dans le cas de séquences réelles, une identification visuelle des auditeurs puis des analyses pourraient être mises en oeuvre pour améliorer l'analyse des données temporelles de l'évaluation continue.

Deuxième partie

Évaluation perceptive du bruit d'un véhicule de livraison par la méthode d'évaluation continue et les verbalisations libres

Introduction

Le but de cette partie est de mettre en évidence les événements les plus désagréables lors de l'utilisation d'un véhicule urbain de livraison. Plus précisément, il s'agit, d'une part, d'appliquer la méthode d'évaluation continue à une séquence sonore réelle et, d'autre part, de confronter les résultats obtenus à ceux issus de l'analyse de verbalisations libres. L'objectif est de vérifier la validité des jugements en continu dans le cas d'une séquence réelle.

Pour cela, une séquence sonore de livraison typique est définie avec les partenaires industriels. Elle se compose de quatre situations distinctes : l'arrivée du camion sur le lieu de livraison avec freinage puis arrêt devant le mannequin, la manipulation de plusieurs portes du véhicules, la manipulation du hayon et d'un transpalette pour le chargement/déchargement des marchandises et le départ du véhicule avec manoeuvre et accélération. Cette séquence sonore est évaluée par une quarantaine d'auditeurs lors d'un test en laboratoire. Ce test comprend deux évaluations continues de la séquence sonore : les auditeurs doivent juger le désagrément perçu à l'aide d'un boîtier muni d'une échelle analogique catégorielle à cinq catégories proposée par R. Weber. Deux sessions de verbalisations libres complètent ce test en fournissant une description des caractères sonores sources de gêne.

Chapitre 6

La séquence sonore de livraison

Le véhicule étudié est un exemplaire de la gamme Midlum de Renault Trucks (modèle 180-12 Euro 3) (Figure 6), équipé d'une porte latérale (Figure 6.2a) et d'un hayon hydraulique (Figure 6.2b). Ce modèle de moyen tonnage est particulièrement adapté aux conditions urbaines.



FIG. 6.1 – MIDLUM 180-12 EURO 3 sur piste acoustique Renault Trucks.



FIG. 6.2 – Détails de la remorque : (a) porte latérale de la remorque et (b) hayon hydraulique à l'arrière.

Une séquence sonore de livraison type a été définie avec les partenaires industriels : arrivée du camion sur la zone de livraison (freinage et arrêt du moteur devant le mannequin), manipulation des portes (portières cabines, porte latérale), manipulation du hayon pour un chargement/déchargement à l'aide d'un transpalette et départ de la zone de livraison avec une marche arrière suivie d'un départ avec accélération. Le scénario détaillé de la séquence de livraison est présenté à l'Annexe C.1. La séquence totale dure 5 min 20. Cette durée correspond à la durée moyenne des opérations de livraison/enlèvement effectuées par des véhicules industriels, durée qui n'excède généralement pas cinq minutes [Com 05b].

Les conditions d'enregistrement des différentes phases sont inspirées du rapport PEAK [vNKD 03] afin que les données correspondent à un format connu et utilisé par les industriels. Deux types d'enregistrements ont été effectués en champ libre, sur les pistes acoustiques Renault Trucks : en statique (livraison, claquement portière...voir Figure 6.3) et en dynamique (accélération/freinage, démarrage...voir Figure 6.4). Le protocole des diverses phases d'enregistrement est proposé en Annexe C.2. Le protocole PEAK a cependant été adapté afin que la séquence soit le plus proche possible d'une situation réelle d'utilisation du véhicule (accélération normale à la place d'une accélération pleine charge). Un mannequin acoustique (Brüel & Kjær type 4100), équipé de deux microphones champ libre (Brüel & Kjær type 4189), a été placé à 7.5 m du milieu de la piste. Les enregistrements sont binauraux pour avoir une restitution réaliste par la suite (écoute dichotique au casque). Les fichiers son sont des wave signed 16 bit, stéréo, échantillonnés à 44100 Hz.

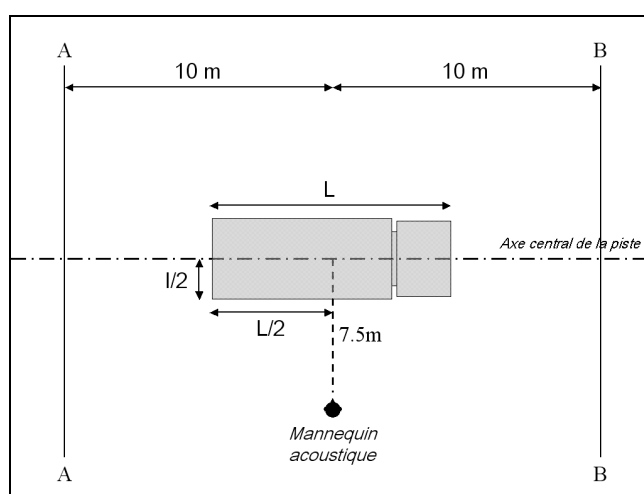


FIG. 6.3 – Schéma protocole de mesure en statique.

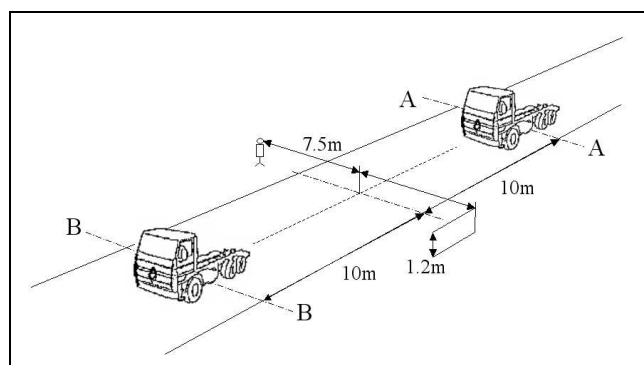


FIG. 6.4 – Schéma protocole de mesure en dynamique.

Les conditions d'enregistrements ne sont pas écologiquement valides : l'enregistrement effectué en champ libre ne correspond pas à une situation réaliste d'écoute d'un riverain qui serait soit à l'intérieur d'une habitation, soit en extérieur mais dans des conditions éloignées du champ libre. Cependant, la séquence sonore n'a pas été modifiée de façon à faciliter le dialogue avec les spécialistes de Renault Trucks. D'autre part, malgré cet aspect non écologiquement valide, les conditions d'enregistrement permettent tout de même aux auditeurs d'identifier les événements sonores et de se placer mentalement dans la position d'un riverain.

Chapitre 7

Protocole du test perceptif

7.1 Matériel

Lors des sessions d'évaluation continue, le dispositif est le même que celui utilisé dans la première partie pour les sons synthétiques (voir section 4.2.3) : l'auditeur dispose du boîtier muni d'un curseur coulissant le long d'une échelle graduée divisée en cinq catégories, allant de "pas du tout désagréable" à "extrêmement désagréable". La tâche de l'auditeur consiste à ajuster la position du curseur de manière à ce que sa sensation de désagrément puisse être représentée sur l'échelle sémantique. De façon simultanée, la séquence sonore est jouée au casque. Les réponses des auditeurs sont traitées de la même façon que précédemment. La fréquence d'échantillonnage initiale étant de 100Hz, les réponses sont rééchantillonnées à 10 Hz pour l'analyse.

Les sessions de verbalisations libres ont eu lieu dans la même salle d'écoute : la séquence audio est jouée au casque pendant qu'un lecteur/enregistreur minidisc numérique enregistre à la fois les productions verbales des auditeurs et la séquence audio. Ce type d'enregistrement permet une transcription précise des verbalisations.

Dans les deux cas, il s'agit d'écoutes binaurales dichotiques.

7.2 Procédure expérimentale

En introduction, l'objet de l'étude est présenté à l'auditeur et le scénario de la livraison brièvement décrit. L'expérience se déroule en quatre sessions distinctes et successives :

- *1ère session de verbalisations libres (VL1)* : il est demandé à l'auditeur de décrire librement les événements qu'il entend alors que la séquence est jouée au casque. Cette première écoute permet au sujet de se familiariser à la fois avec le contenu de la séquence sonore mais aussi avec la tâche de production de verbalisations. Il s'agit d'une phase d'apprentissage.
- *1ère session d'évaluation continue (EC1)* : l'auditeur évalue le désagrément de la séquence sonore en utilisant le boîtier de l'évaluation continue.
- *2ème session de verbalisations libres (VL2)* : la séquence audio est jouée au casque et simultanément, le sujet décrit librement le désagrément perçu lors de l'écoute.
- *2ème session d'évaluation continue (EC2)* : lors de cette seconde évaluation, on considère que le sujet est habitué à exprimer son désagrément à l'aide du curseur et de l'échelle graduée ; sa réponse est donc considérée comme plus fiable. D'autre part, lors de cette quatrième écoute, les différents événements sonores présents dans la séquence de livraison sont devenus familiers à l'auditeur. Sa situation peut donc être considérée comme proche de celle d'un riverain qui subirait les nuisances sonores de la livraison de façon répétitive. Mais l'intérêt principal de cette seconde évaluation continue est que l'auditeur peut, s'il le désire, modifier son jugement par rapport à celui effectué en EC1 : certains bruits peuvent lui être

devenus plus désagréables et d'autres moins au fur et à mesure des écoutes répétées.

A la fin de l'expérience, il est demandé à l'auditeur d'évaluer la difficulté et la durée de l'ensemble du test lors d'un court questionnaire à choix multiples (QCM) :

- "Avez-vous trouvé ce test... 1 : très difficile, 2 : difficile, 3 : moyen, 4 : facile, 5 : très facile ?"
- "Avez-vous trouvé ce test... 1 : très court, 2 : court, 3 : moyen, 4 : long, 5 : très long ?"

La durée moyenne de l'expérience est d'une demi-heure. La consigne fournie aux auditeurs et présentée à l'Annexe D.

7.3 Attribut à évaluer

C'est le terme de "gêne" qui est employé dans la consigne aux auditeurs (Annexe D) alors que les labels présents sur le boîtier de l'évaluation continue portent sur le "désagrément". La limite entre les deux termes est ici très floue : certes l'auditeur est mis en situation ("Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle...") et le terme de gêne serait approprié. Le concept de gêne est souvent utilisé en référence aux interférences avec d'autres tâches à réaliser [GUS 97]. Ici, l'attention de l'auditeur reste essentiellement focalisée sur le stimulus à évaluer, sans tâche supplémentaire à effectuer. Le terme de "désagrément" paraît donc tout aussi valide.

D'autre part, le jury était essentiellement composé d'auditeurs "naïfs" pour lesquels les descripteurs "gênant" et "désagréable" sont synonymes l'un de l'autre : aucun auditeur n'a demandé à avoir de précision sur la différence entre les deux termes employés. L'utilisation des deux descripteurs en parallèle ne semble donc pas devoir porter préjudice aux résultats de l'expérience.

7.4 Auditeurs

Le jury est composé de 45 personnes âgées de 19 à 70 ans (38 ans en moyenne) dont 23 femmes et 22 hommes. 71% des auditeurs ont déclaré vivre en milieu urbain, 24% en milieu péri-urbain. 15 sujets étaient des membres du laboratoire. Les 30 autres ont été recrutés à l'extérieur et n'avaient jamais participé à des tests perceptifs. Ils sont considérés comme des auditeurs "naïfs".

Chapitre 8

Création de la base de données des verbalisations libres

8.1 Introduction

Cette partie de l'étude a été réalisée par V. Nosulenko et E. Samoylenko. Ce chapitre est une synthèse du rapport de recherche rédigée sur le sujet [NS 05].

Le premier objectif de cette analyse est de définir les éléments pertinents de l'événement testé : quelles sources sonores ont été identifiées par l'auditeur lors de l'écoute de la séquence ? Quelles actions de livraison y sont associées ? Le deuxième objectif est d'évaluer le désagrément causé par ces sources et actions perçues. Le troisième objectif de l'analyse vise à identifier, dans l'enregistrement sonore, les moments qui correspondent aux sources et aux actions perçues par l'auditeur.

La méthode consiste à extraire du protocole les unités verbales puis à en effectuer une analyse systémique. Dans le cadre de cette approche, l'unité verbale caractérise d'une façon significative et indépendante les aspects élémentaires ou la nature holistique des objets perçus. Chaque unité verbale représente un seul élément dans le groupe de données et définit un enregistrement indépendant de la base de données.

Pour la présente étude, la création de la base de données comprend 3 étapes :

- indexation des unités verbales,
- codage des unités verbales selon leurs significations,
- localisation des micro-séquences sonores correspondant aux sources identifiées par les auditeurs (mise en évidence des liens entre les catégories de codage et les micro-séquences de l'enregistrement sonore).

Les index et codes permettent ensuite d'analyser l'ensemble de l'information recueillie, c'est-à-dire, de sélectionner les informations de même catégorie et de créer les liens entre différents groupes d'informations.

8.2 Indexation des unités verbales

Au cours de l'indexation, chaque unité verbale est mise en relation avec les paramètres permettant d'identifier les conditions du test, d'une part, et les données initiales sur le sujet et les objets étudiés, d'autre part.

Cette étape consiste à informer les champs d'indexation de la base de données suivants :

- le numéro de l'auditeur selon la liste des participants,

- le numéro de la session (*VL1* ou *VL2*),
- la situation observée (voir Tableau 8.1) ;
- le coefficient de pondération de l'unité verbale (0,5 ou 1,0 ou 1,5) : lors de cette étape, une pondération est attribuée à chaque unité verbale en fonction de sa présence dans l'ensemble des productions verbales d'un sujet. Par exemple, les unités verbales "un tout petit peu gênant", "gênant" et "très gênant" ont des poids différents.

Début	Durée	Situation n°	Description
00 : 00,0	00 : 29,2	1	Arrivée du véhicule : arrivée et arrêt du camion, sortie du livreur de la cabine
00 : 29,2	01 : 27,3	2	Manipulation portes remorque : ouverture/fermeture porte latérale, ouverture et descente du hayon
01 : 56,5	01 : 03,5	3	Manipulation marchandises : utilisation du transpalette dans et hors de la remorque
03 : 00,0	01 : 07,7	4	Manipulation hayon : descente finale puis remontée et fermeture en plusieurs fois
04 : 07,7	00 : 10,3	5	Départ du véhicule : remontée du chauffeur dans la cabine, marche arrière, départ du camion

TAB. 8.1 – Situations observées.

8.3 Codage des unités verbales selon leurs significations

Une unité verbale peut décrire les sources identifiées par l'auditeur dans un espace d'action du livreur ainsi que les activités de livraison. Le schéma de codage permet d'analyser les liens entre ces deux groupes d'unités verbales (sources et actions). Le codage des unités verbales a été réduit et simplifié pour cette étude. La Figure 8.1 en présente le schéma de principe.

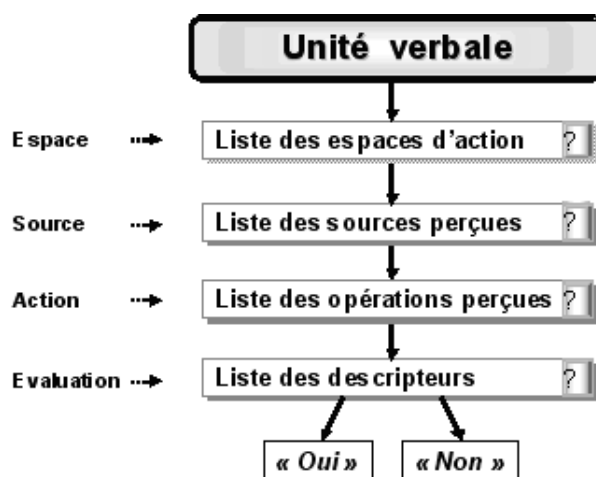


FIG. 8.1 – Principe de codage, extrait du rapport [NS 05].

Les unités verbales caractérisant l'espace des actions sont codées dans le champ *Espace* selon 3 catégories générales : *environnement* (événement hors du camion), *cabine* (événement dans la cabine du camion) et *remorque* (événement dans la remorque). Les unités verbales caractérisant les sources perçues par l'auditeur sont codées dans le champ *Source* selon la liste présentée dans le Tableau 8.2. Les unités verbales caractérisant les opérations perçues par l'auditeur sont codées dans le champ *Activité* : *accélérer*, *démarrer*, *se déplacer*, *freiner*,

tourner pour les actions associées au camion, *ouvrir, fermer, taper, manipuler* pour les actions associées aux portes et au hayon...

Les unités verbales sont codées en fonction de ce que perçoit et identifie l'auditeur et par rapport à l'environnement, à la source et à l'action réels.

Code	Description
\	pas de source identifiée
moteur	identification du moteur du camion
porte	identification d'une porte (cabine ou latérale)
hayon	identification du hayon
chariot	identification du transpalette
livreur	identification de la présence du livreur
vérin	identification de l'hydraulique lié au fonctionnement du hayon
ressorts	identification des mouvements des suspensions

TAB. 8.2 – Situations observées.

Les évaluations des événements perçus sont codées dans le champ *Descripteur* selon la liste présentée Tableau 8.3. Elles ne concernent que des données de la session *VL2* (à l'exception de jugements du descripteur *explicite*).

Code	Description
\	pas d'évaluation
gênant	"des bruits pas spécialement très gênant", "c'est pénible"
fort	"pas trop bruyant", "il claque très fort"
aigu	"bruit assez aigu"
brusque	"c'est plutôt les à-coups brusques"
explicite	"je ne sais plus trop si ça monte ou si ça descend"
grinçant	"la montée du hayon, ça grince un peu"
long	"le hayon qui remonte, bruit qui dure assez longtemps"
métallique	"avec quelques claquements plus métalliques"
régulier	"un petit couinement de descente qui est...régulier", "bruit constant"
réverbérant	"c'est une sorte de réverbération", "des bruits avec beaucoup d'écho"
sifflement	"sifflement qui recommence encore une fois", "encore une fois le sirènement"
souffle	"petits soufflement du hayon", "l'air qui s'échappe de vérins"
sourd	"un bruit sourd"
vibrant	"ça vibre, de partout"

TAB. 8.3 – Liste des codes du champ *Descripteurs*.

Chaque descripteur est ensuite codé dans le champ *Évaluation* en fonction de sa tendance positive ("il claque très fort" - descripteur *fort*, code *oui*) ou négative ("pas trop bruyant" - descripteur *fort*, code *non*).

8.4 Localisation des micro-séquences sonores liées aux sources perçues par les auditeurs

C'est un stade important de la création de la base de données. Elle vise à repérer les endroits de la séquence sonore qui ont été perçus comme caractérisant certaines sources et actions. Ces passages seront isolés et appelés "micro-séquences" (MS). La localisation des micro-séquences pertinentes se déroule en plusieurs étapes, au

cours de l'écoute synchronisée des verbalisations des auditeurs et des actions de livraison.

A la première étape, les unités verbales sont regroupées par rapport aux codes du champ *source*. Ce regroupement est réalisé indépendamment pour chacune des 5 situations observées et pour chaque auditeur. Ceci permet d'attribuer aux groupes de même catégorie des numéros de micro-séquence et d'indiquer le début et la durée de chaque MS.

A la deuxième étape, une analyse statistique préliminaire est effectuée pour l'ensemble du jury. L'objectif est d'évaluer la pertinence des informations regroupées selon un critère prédéfini : dans une micro-séquence, la source de même catégorie doit être identifiée par plus de 75% des auditeurs.

Les étapes suivantes consistent à unifier les groupes voisins ne répondant pas aux critères de pertinence afin d'aboutir aux niveaux de pertinence demandés. Plusieurs cycles d'unification et d'analyse statistique des groupes d'unités verbales peuvent être envisagés. Pour la présente étude, 4 cycles d'analyse ont été réalisés. Lors du dernier cycle d'unification, 28 micro-séquences sont perçues de la même manière par plus de 75% des auditeurs. Leur durée moyenne est 11,4 s. La micro-séquence la plus courte ne dure que 1 s. La micro-séquence la plus longue dure 27 s. Le Tableau 8.4 présente la liste complète des micro-séquences.

Chaque unité verbale de la base de données (3054 au total) est indexée par rapport aux micro-séquences identifiées (champ *micro-séquence*). Cette étape termine le processus de création de la base de données effectuée par Nosulenko et Samoylenko.

8.5 Modifications de la base de données

Dans la base de données créée, les unités verbales sont indexées en fonction des sources et actions perçues par les auditeurs. Or dans la présente étude, il s'agit d'évaluer le désagrément causé par une source ou une action donnée. L'ensemble de la base de données est modifié afin que les champs *sources* et *actions* correspondent aux sources et aux actions réelles et non à l'image que s'en fait l'auditeur. Ces modifications sont possibles grâce à l'enregistrement simultané de la séquence sonore et des verbalisations libres. Un exemple de modification de l'indexation de la base de données est présentée Tableau 8.5.

Ensuite certaines définitions de champs sont modifiées :

- la source *vérin* ne concerne plus que les bruits hydrauliques perçus dans la MS8. La source *hayon* regroupe tous les bruits concernant la manipulation et les bruits associés à l'utilisation du hayon uniquement.
- L'action *se déplacer* correspond dans la séquence 28 à l'action *s'éloigner*, par opposition à l'action *s'approcher* de la MS1.
- La combinaison de la *source porte* et de *l'espace cabine* correspond aux portes passager et chauffeur. La combinaison la *source porte* et de *l'espace remorque* correspond à la porte latérale dans la MS7 et à la partie supérieure du hayon dans les MS10 et 17.
- En ce qui concerne les fermetures de porte, l'action *fermer* a été systématiquement employée. Lorsque l'ensemble lexical claquer/claquement a été utilisé par l'auditeur, l'action a été associée au descripteur *brusque*. L'action *taper* devient donc spécifique aux chocs des autres objets/sources.
- Les "couinements" sont associés au descripteur *grinçant*.

Situation	N° MS	Début MS en s	Durée MS en s	Description
1	1	0,0	7,5	arrivée à 40 km/h + freinage et arrêt
	2	7,5	6,3	ralenti moteur + arrêt moteur
	3	16,5	7,3	fermeture porte chauffeur
	4	21,1	4,3	ouverture porte passager
	5	25,4	3,8	fermeture porte passager
2	6	29,2	15,4	ouverture et manipulation de la porte
	7	44,7	2,1	fermeture porte latérale
	8	52,6	27,0	déverrouillage targette de sécurité hayon
	9	73,5	18,3	ouverture et abaissement du hayon
	10	91,8	24,7	chauffeur monte sur le hayon + montée du hayon + bruits des suspensions + choc butée + ouverture partie haute du hayon
3	11	116,4	1,4	transpalette mis sur pieds
	12	117,9	9,7	déplacement du transpalette dans la remorque et sur le hayon
	13	127,6	13,0	descente hayon
	14	140,6	17,2	descente transpalette du hayon + déplacement transpalette à l'extérieur de la remorque + remontée du transpalette sur hayon
	15	157,8	11,3	remontée du hayon
	16	170,0	10,9	déplacements chauffeur et transpalette dans la remorque + choc du transpalette reposé sur le sol
4	17	180,7	9,7	fermeture partie haute du hayon
	18	189,7	19,8	descente du hayon
	19	209,5	15,5	fermeture du hayon
	20	225,0	4,0	problème de manipulation du hayon : grincement du hayon
	21	229,0	18,7	déblocage et fermeture définitive du hayon + verrouillage targette de sécurité hayon
5	22	254,0	11,7	ouverture porte passager
	23	259,0	1,0	fermeture porte passager
	24	264,0	9,0	ouverture et fermeture porte chauffeur (remontée du chauffeur dans cabine)
	25	270,3	5,7	démarrage et ralenti moteur
	26	274,7	26,5	marche arrière + bruits de frein + ralenti moteur
	27	302,0	10,9	ralenti moteur + départ en accélération
	28	312,1		éloignement camion à vitesse stabilisée (40 km/h)

TAB. 8.4 – Tableau des micro-séquences (MS).

Unité verbale	Ancien codage	Nouveau codage
MS18 : "ah ben là, il monte le transpalette"	<i>Source</i> : chariot <i>Action</i> : monter	<i>Source</i> : hayon <i>Action</i> : descendre

TAB. 8.5 – Modification du codage index *source* et *action*.

Chapitre 9

Analyses des verbalisation libres

9.1 Répartition des unités verbales

Les verbalisations libres de 41 auditeurs ont été retenues et retranscrites pour l'analyse. La base de données comporte un total de 3054 unités verbales (UV) : 1430 pour *VL1* et 1624 pour *VL2*. L'augmentation du nombre de verbalisations entre les deux sessions n'est pas statistiquement significative (test T de Student, échantillons appariés : $p = 0.168$).

Le Tableau 9.1 récapitule les informations sur les sessions de verbalisations libres de la présente étude (*VL1* et *VL2*) ainsi que de deux autres études utilisant des comparaisons par paires. Dans la première [PGN 06], les auditeurs devaient décrire librement les différences et les similarités entre différents bruits de portière. Dans la deuxième [PAN 06], il était demandé aux sujets de comparer le confort vibratoire et acoustique à l'intérieur de différents véhicules, lors d'un test de comparaison par paire : pour chaque paire l'auditeur devait d'abord évaluer la similarité entre les deux véhicules présentés, puis indiquer lequel était le plus confortable et enfin, expliquer librement ses réponses.

	<i>VL1</i>	<i>VL2</i>	[PGN 06]	[PAN 06]
stimuli	1	1	6	7
UV/auditeur	34.8	39.6	126	202

TAB. 9.1 – Nombre d'unités verbales (UV) produites par auditeurs dans trois études : *VL1* et *VL2* pour la présente étude, [PGN 06] pour une étude sur le bruit de portières et [PAN 06] sur la perception du bruit intérieur de voiture.

En comparant les deux études de Parizet et al. [PGN 06, PAN 06], il semblerait que le nombre d'unités verbales par auditeurs dépende du nombre de stimuli. Ceci pourrait expliquer le faible nombre d'unités verbales par auditeur dans le cas de la présente étude.

Une hypothèse pour expliquer cette faible valeur concerne la tâche à effectuer : dans les études de Parizet et al., il s'agit de comparer deux stimuli. Les méthodes de verbalisations libres sont basées sur l'idée que les productions verbales d'un sujet dont la tâche est de comparer deux stimuli est le meilleur moyen de mettre en évidence certains aspects subjectifs de la représentation que se fait l'auditeur des stimuli [SMN 96, NS 01]. Le principe de comparaison verbale est d'ailleurs un des fondements de la procédure d'analyse des verbalisations libres mise au point par Nosulenko et Samoylenko (voir chapitre 2.3.2). On suppose que la différence entre le nombre de verbalisations par auditeurs de notre étude et celui des études mettant en jeu une comparaison des stimuli est du à l'absence de comparaison : la tâche de description simple, sans référentiel est moins facile et

favorise moins la production verbale.

Le nombre d'unités verbales par auditeur a ensuite été analysé en fonction de caractéristiques sociologiques recueillies pour chaque auditeur en début d'expérience. Tout d'abord, la différence de production verbale entre auditeurs naïfs (n'ayant jamais participé à un test perceptif) et auditeurs expérimentés (membres du laboratoire, ayant déjà participé à des expériences perceptives) n'est pas statistiquement significative. De même, aucune relation n'a pu être établie avec l'âge des auditeurs, leur sexe ou la zone d'habitation (urbaine, péri-urbaine ou rurale).

9.1.1 Répartition des unités verbales par micro-séquence

La Figure 9.1(a) présente le nombre moyen normalisé d'unités verbales¹ par micro-séquence pour les deux sessions de verbalisations libres. Cette représentation permet d'observer, par exemple pour la micro-séquence 1 (MS1), que chaque auditeur s'est, en moyenne, exprimé au moins 2 fois lors de la première session (VL1) et au moins 1.5 fois lors de la seconde (VL2). Mais les durées des micro-séquences sont variables (de 1 à 27 s). Pour mettre en évidence les séquences pour lesquelles les auditeurs se sont le plus exprimés, il faut pondérer le nombre moyen d'unités verbales par la durée de chaque micro-séquence. On obtient ainsi le nombre relatif d'unités verbales utilisées par micro-séquence. Sur la Figure 9.1(b), il apparaît clairement que les MS 11 (transpalette mis sur pied : choc au sol) et MS23 (fermeture porte passager) sont celles pour lesquelles les auditeurs ont été le plus prolixes.

Par la suite, les analyses ne porteront plus que sur la deuxième session de verbalisations libres (VL2). On considère que l'auditeur est familier, d'une part, avec la méthode des verbalisations libres (le fait de s'exprimer librement pour évaluer oralement la séquence audio pendant qu'elle est jouée au casque) et d'autre part, avec le contenu de la séquence. Par conséquent, son jugement est considéré comme plus fiable lors de cette dernière session de verbalisations.

¹Les données de chaque sujet sont normalisées par rapport au nombre total d'unités verbales produites par ce sujet. Cette normalisation permet de comparer des résultats quantitatifs de l'analyse des verbalisations réalisée pour chaque sujet. Elle permet également d'analyser les données d'un groupe de sujets sélectionnés [NS 97]

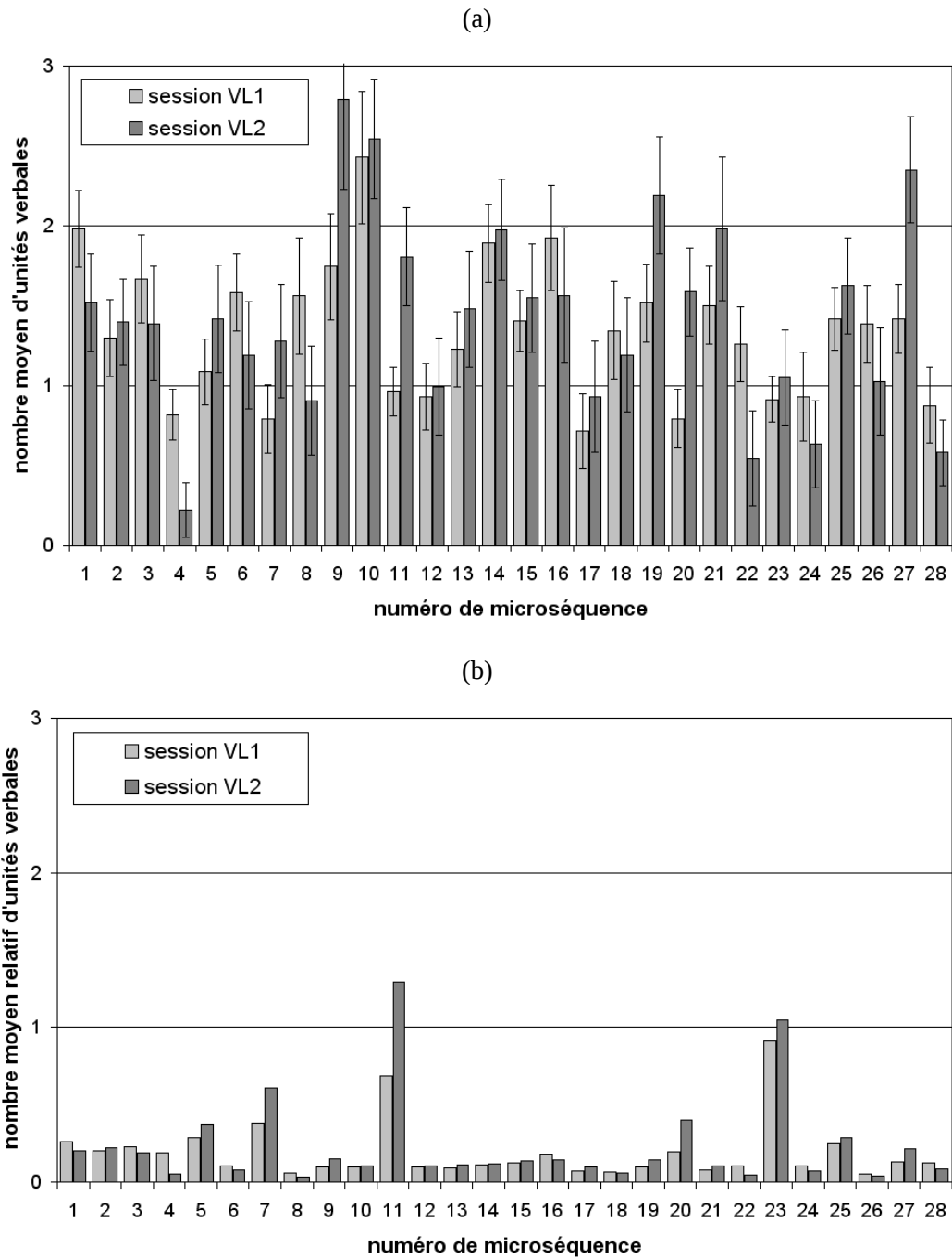


FIG. 9.1 – Nombre moyen normalisé d’unités verbales par micro-séquence : (a) nombre moyen normalisé d’unités verbales produites par auditeur et (b) nombre moyen normalisé relatif, i.e. nombre moyen par seconde.

9.1.2 Répartition des unités verbales par sources

La Figure 9.2 présente le nombre moyen normalisé d'unités verbales par sources. Celles pour lesquelles les auditeurs se sont le plus exprimés sont aussi celles qui sont le plus présentes, par rapport à la durée et/ou à la fréquence d'apparition, dans la séquence. Il s'agit du *hayon* (manipulé 6 fois, soit pendant une durée d'environ 125 s), du *moteur* (en début et fin de séquence, soit 63.8 s au total), des *portes* (cabine avec 4 ouvertures et 4 fermetures et latérale avec une durée de manipulation d'environ 17 s) et du *chariot* (transpalette présent pendant environ 39 s).

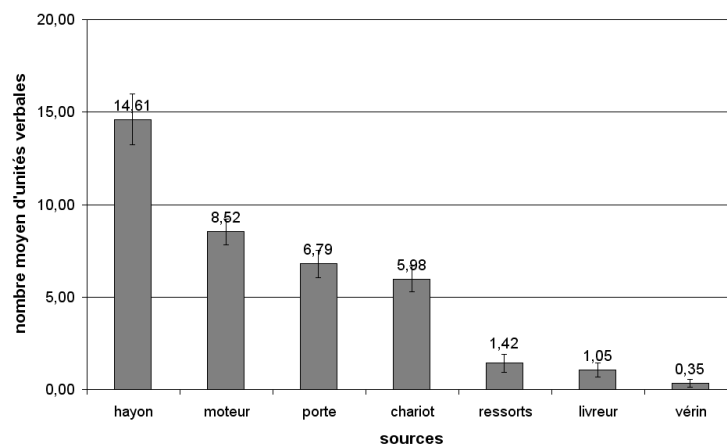


FIG. 9.2 – Nombre moyen d'unités verbales par sources.

Le nombre moyen normalisé d'unités verbales est ensuite pondéré par le temps total de présence de chaque source au cours de la séquence sonore. La Figure 9.3 présente les résultats obtenus pour les quatre sources principalement citées : *hayon*, *moteur*, *porte* et *chariot*. C'est la source *porte* qui est donc la plus décrite, probablement parce qu'elle est l'une des plus familières aux auditeurs.

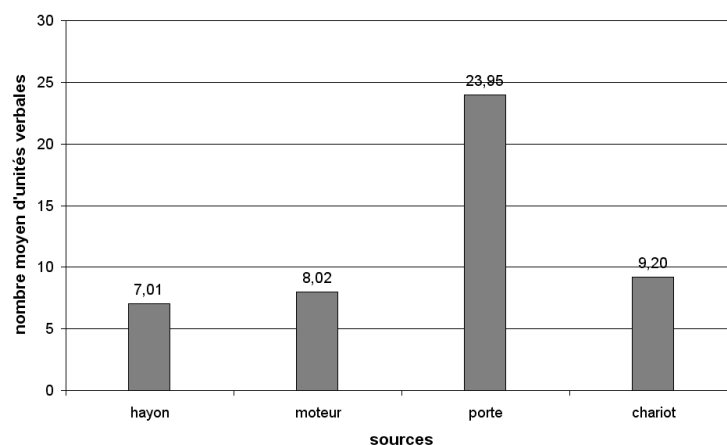


FIG. 9.3 – Nombre moyen normalisé d'unités verbales par sources pondéré par la durée de présence de la source dans la séquence.

9.1.3 Répartition des unités verbales par descripteurs

Les histogrammes gris foncé de la Figure 9.4 montrent les nombres moyens normalisés d'unités verbales pour la liste des descripteurs établie par Nosulenko et Samoylenko (voir Tableau 8.3). Les résultats sont présentés en fréquences relatives par rapport au nombre total moyen d'unités verbales. La prédominance du descripteur *gênant* n'est pas surprenante puisque la consigne donnée porte sur la description de ce caractère du son. Par contre, les plupart des autres descripteurs, à l'exception de *fort*, n'ont été que peu employés.

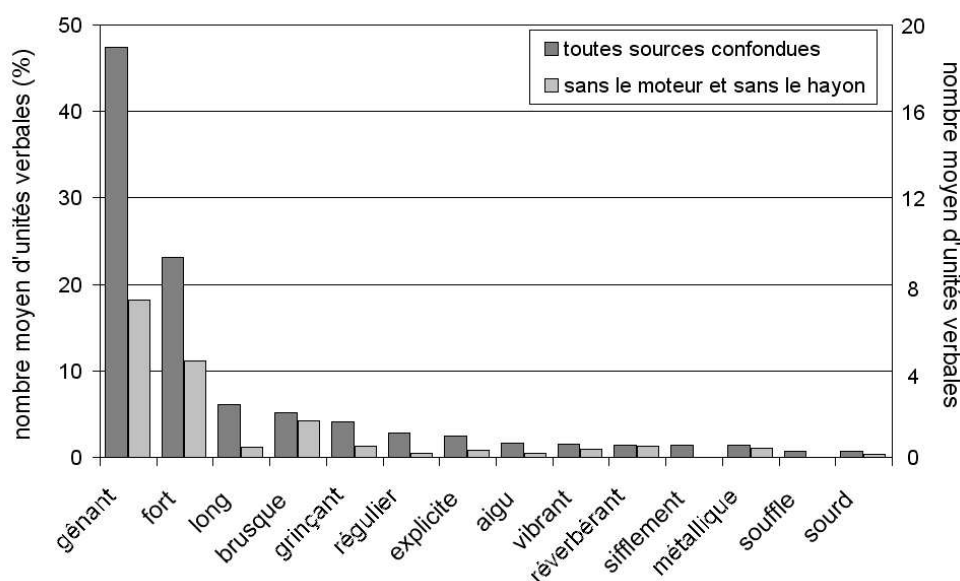


FIG. 9.4 – Nombre moyen normalisé d'unités verbales par descripteurs pour l'ensemble des sources (histogrammes gris foncé), pour l'ensemble des sources hormis le moteur et le hayon (histogrammes gris clair). L'échelle de droite est en nombre moyen normalisé d'unités verbales, celle de gauche en fréquences relatives par rapport au nombre moyen normalisé total d'unités verbales.

Les sources *hayon* et *moteur* étant celles pour lesquelles les auditeurs ont le plus produit de verbalisations (en nombre moyen d'unités verbales, Figure 9.2), les nombres moyens d'unités verbales pour les descripteurs sont recalculés sans ces deux sources (histogrammes gris clair sur la Figure 9.4). Il apparaît clairement que c'est le descripteur *gênant* qui a surtout été utilisé pour décrire ces deux sources, de même que les descripteurs *long* et *fort*.

En comparant cette répartition à celle des descripteurs extraits de l'étude de Parizet et al. [PGN 06] sur les bruits de fermeture de portières (voir Figure 9.5), il apparaît que la variété des descripteurs employés est plus riche que dans la présente étude. Ceci est probablement dû à la consigne : il s'agit d'une tâche de comparaison dans laquelle l'auditeur décrit les différences et les similarités entre deux stimuli. Cette tâche semble fournir des productions verbales non seulement plus nombreuses mais aussi plus riches.

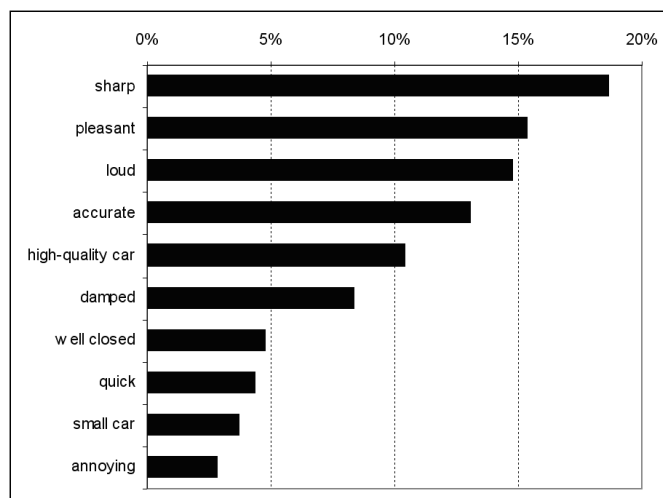


FIG. 9.5 – Répartition moyenne des unités verbales par descripteurs pour l'étude de Parizet et al. [PGN 06].

9.2 Identification des actions et des sources - analyse du descripteur *explicite*

Afin de mettre en évidence les événements sonores (caractérisé par une combinaison *espace / source / action*) identifiés ou non par les auditeurs, la base de données des unités verbales de la session *VL2* est entièrement recodée en utilisant uniquement le descripteur *explicite* : si l'auditeur identifie ou croit identifier la source ou l'action liée à l'événement sonore, le label positif *oui* est attribué sinon c'est le label négatif *non* qui est attribué. La valeur finale calculée prend alors en compte non seulement le nombre d'apparitions du descripteur mais aussi le label associé. De cette façon, on obtient un score positif lorsque le descripteur est prédominant (*explicite*) et négatif lorsque c'est son contraire qui prédomine (*non explicite*).

Les événements sonores auxquels les auditeurs ont associé une source sonore (qu'elle corresponde ou non à la source réellement en présence) peuvent être identifiés.

9.2.1 Identification des sources

Une première analyse permet d'extraire la prédominance du descripteur *explicite* pour chacune des sources en présence. Figure 9.6, les deux sources majoritairement citées sont le *moteur* et les *portes*. Il s'agit de sons de la vie courante auxquels il est aisé d'associer une source. Par contre, malgré le fait que la présence du hayon soit notifiée aux auditeurs avant le début du test (voir consigne Annexe D), les sujets ne l'ont pas aisément identifié. Il s'agit d'une source sonore nettement moins connue du grand public que le moteur ou les portes (les auditeurs ne sont pas des experts motoristes).

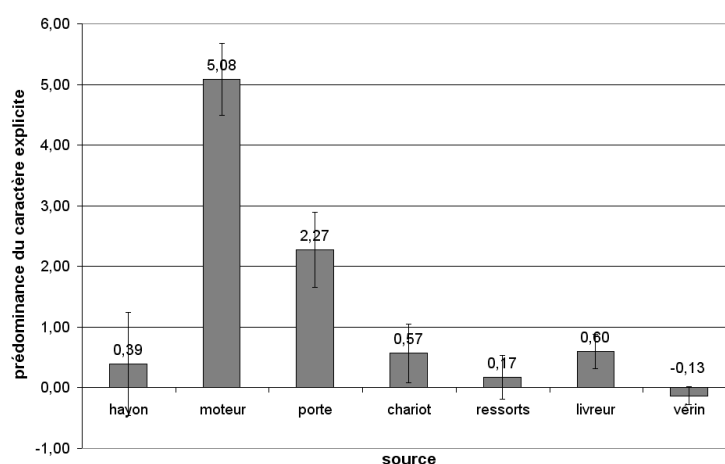


FIG. 9.6 – Prédominance du descripteur *explicite* pour chaque source en présence.

Cette première analyse reste superficielle : aucune distinction n'est faite entre les différents types de portes (latérale, cabine, partie haute du hayon) ni, pour une même source, entre les différentes actions qui peuvent lui être associées (*monter* et *descendre* pour le hayon). Plutôt que de procéder, pour chaque source, à une analyse de chaque type d'action, une analyse par micro-séquence va être effectuée : ce découpage chronologique de la séquence sonore fait correspondre à chaque micro-séquence un ou plusieurs couples *source/action* significatifs, permettant ainsi de différencier les événements liés aux portes cabine de ceux associés à la porte latérale, les ouvertures des fermetures, etc...

9.2.2 Identification du contenu des micro-séquences

Une analyse de la prédominance du descripteur *explicite* est effectuée pour chaque micro-séquence. Les résultats sont présentés Figure 9.7. Pour plus de lisibilité, à chaque micro-séquence est associée la source réelle correspondant au contenu de la micro-séquence.

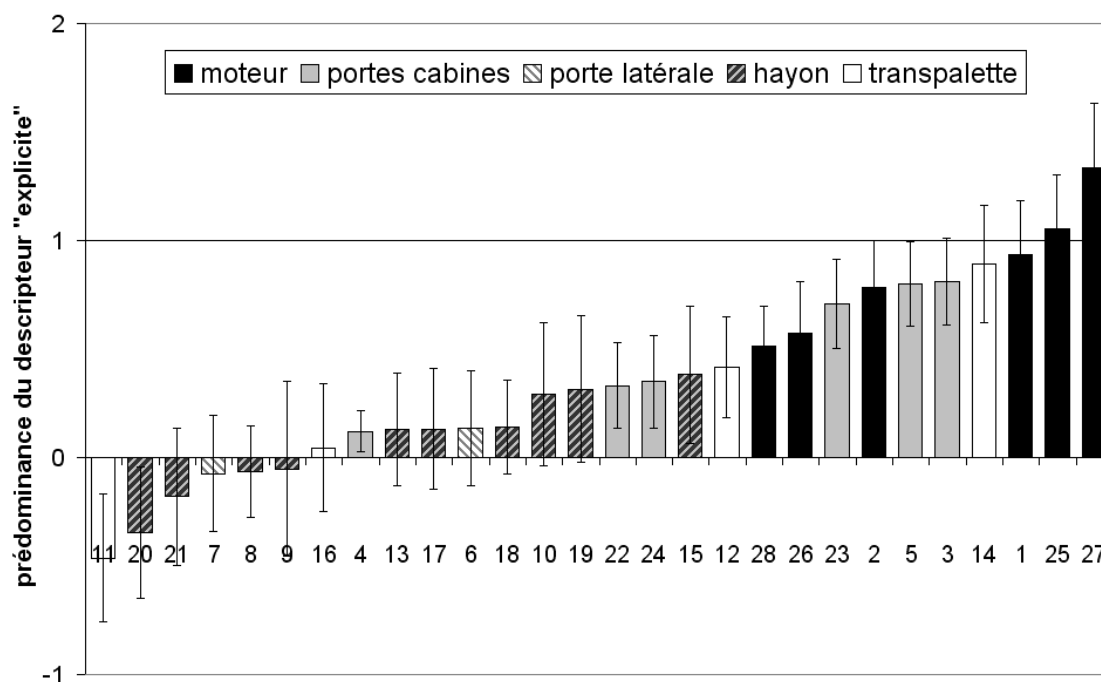


FIG. 9.7 – Prédominance du descripteur *explicite* pour chaque micro-séquence et intervalle de confiance à 95%.

La même tendance que précédemment est retrouvée : ce sont les bruits au caractère plus familier qui sont le plus associés à une source identifiée : les bruits générés par le moteur, accélération (MS1 et 27), freinage (MS2), marche arrière (MS26) et éloignement (MS28), sont les mieux identifiés, de même que les fermetures de portières (MS3, 5 et 23). Les événements correspondant à l'ouverture de la cabine (MS4, 22 et 24) sont moins bien identifiés que les fermetures. Il s'agit de sons courts rapidement suivis de nouveaux événements sonores (fermeture de porte) : les auditeurs peuvent avoir manqué de temps pour identifier le son et s'exprimer. Enfin, dans cette séquence sonore, l'action *ouvrir* liée à une source *porte* est toujours suivie d'une action *fermer*. A la 3ème écoute, la plupart des auditeurs semble avoir assimilé cette information : une ouverture sera suivie d'une fermeture et même si l'auditeur n'a pas eu le temps de s'exprimer sur le premier événement, il aura plus facilement identifié le second.

Les bruits liés à la manipulation du hayon ainsi qu'à la porte latérale sont très peu identifiés. On suppose que cela est dû au fait que ces bruits ne sont pas familiers au grand public. Les événements sonores impulsifs (MS11 : choc au sol dans la remorque et MS20 : choc à la fermeture du hayon) ne sont pas identifiés : les scores négatifs montrent que les auditeurs ont clairement énoncé leur incapacité à associer une source à l'événement sonore entendu : "là, il a fait un grand bruit, je peux pas vous définir ce qu'il a fait" (auditeur 27).

9.3 Analyse de la gêne exprimée

La base de données *VL2* comportant les unités verbales indexées suivant la liste des descripteurs (Tableau 8.3) est utilisée pour la suite de l'analyse.

9.3.1 Analyse du descripteur *gênant*

Une première analyse de la prédominance du descripteur *gênant* pour les sources en présence est effectuée. Les résultats sont présentés Figure 9.8. Le moteur semble être la principale source de gêne, suivi du transpalette (*chariot*) et des bruits associés au hayon. Bruits de portes et de ressort sont jugés nettement moins gênants. Les scores négatifs obtenus pour les sources *livreur* et *vérin* montrent que ces sources sont évaluées comme *non gênantes*.

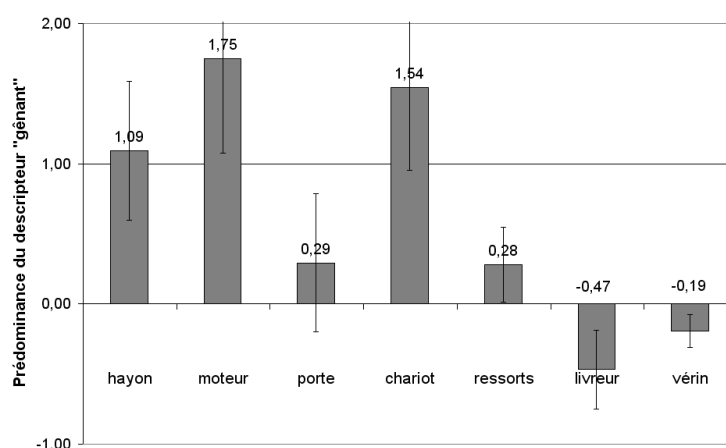


FIG. 9.8 – Prédominance du descripteur *gênant* pour chaque source sur l'ensemble de la séquence sonore et intervalle de confiance à 95%.

La prédominance du descripteur *gênant* est ensuite calculée par micro-séquence. La Figure 9.9 présente les résultats classés par ordre croissant de gêne exprimée. Parmi les MS les plus gênantes, trois sont liées au bruit du moteur : il s'agit de l'arrivée du véhicule (MS1), de la mise en route du moteur (MS25) et du départ en accélération (MS27). Les MS2 et 26 contenant des passages de ralenti moteur et/ou de marche arrière sont évaluées comme moyennement gênantes. L'éloignement du camion est lui perçu comme non gênant.

Concernant les bruits liés au hayon, les 3 dernières remontées du hayon (MS15, 19 et 21) sont parmi les 10 évènements les plus gênants. Les deux dernières descentes du hayon (MS13 et 18) sont les deux évènements les moins gênants de la séquence. Parmi les évènements les plus gênants, on retrouve les deux chocs (MS11 : choc du transpalette sur le sol de la remorque, et MS20 : choc à la fermeture du hayon). Les ouvertures de portes (MS3, 4, 6 et 22) sont parmi les évènements les moins gênants.

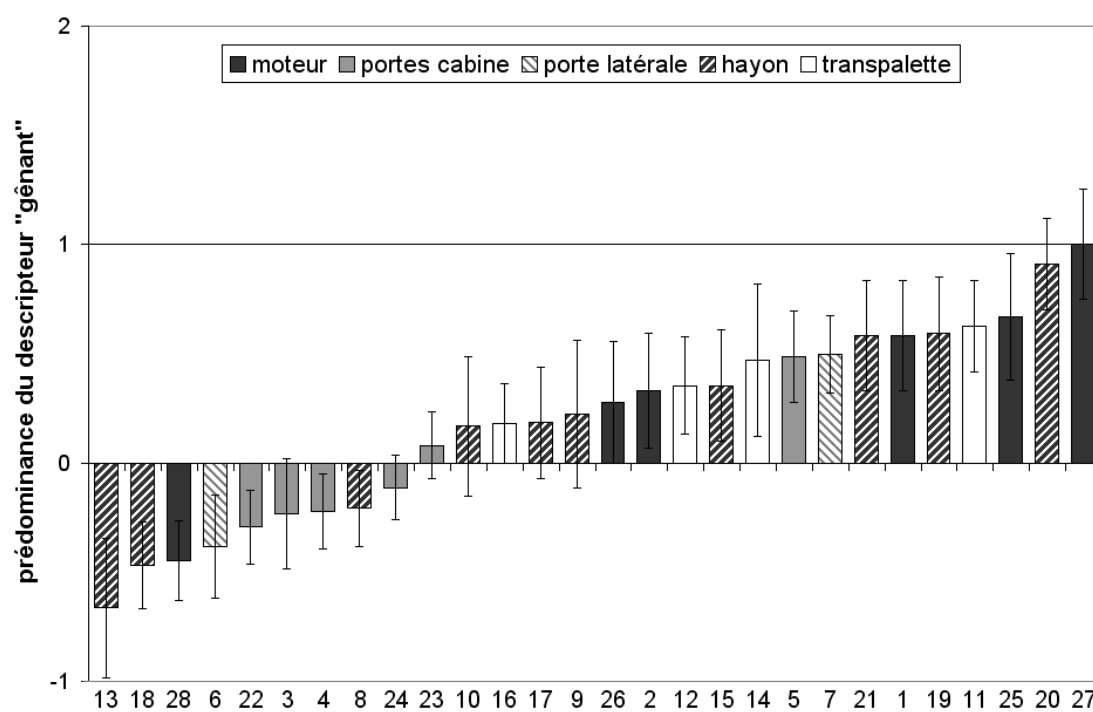


FIG. 9.9 – Prédominance du descripteur *génant* pour chaque micro-séquence et intervalle de confiance à 95%.

9.3.2 Relation entre les descripteurs *gênant* et *explicite*

Afin de mettre en évidence un lien entre la gêne exprimée par les auditeurs et leur identification des événements sonores, les prédominances des descripteurs *gênant* et *explicite* sont comparées. La Figure 9.10 présente, pour chaque micro-séquences (représentées par son numéro), les prédominances des deux descripteurs.

Il ne semble pas y avoir de lien direct entre gêne exprimée et identification de la source (coefficient de corrélation de Pearson : $r^2 = 0.0314$; $N = 28$). Par extension, il n'y a pas de lien direct entre l'évaluation de la gêne et la signification du son. Ce résultat peut sembler en contradiction avec ceux d'Ellermeier et al. [EZF 04] et Zeitler et al. [ZEF 04] qui avaient mis en évidence l'influence de la signification d'un son sur l'évaluation du désagrément. Il s'agissait d'études comparant des sons réels à leurs équivalents "neutralisés" (voir section 2.1.5) : l'énergie et le contenu spectral étaient identiques aux sons réels mais il était impossible de relier le bruit neutralisé à une source, voire à un contexte sonore quelconque. Dans notre étude, même si pour un événement sonore donné, l'auditeur n'identifie pas clairement la source et l'action associée (il ne sait plus si la porte est ouverte ou fermée), il l'associe tout de même au contexte (manipulation d'une porte dans le cadre d'une livraison). Les événements sonores ne sont donc pas complètement dénués de sens comme ils peuvent l'être dans les études d'Ellermeier et al. [EZF 04] et Zeitler et al. [ZEF 04] Ceci peut expliquer le fait que, dans notre cas, la gêne exprimée ne puisse être directement reliée à l'identification de la source.

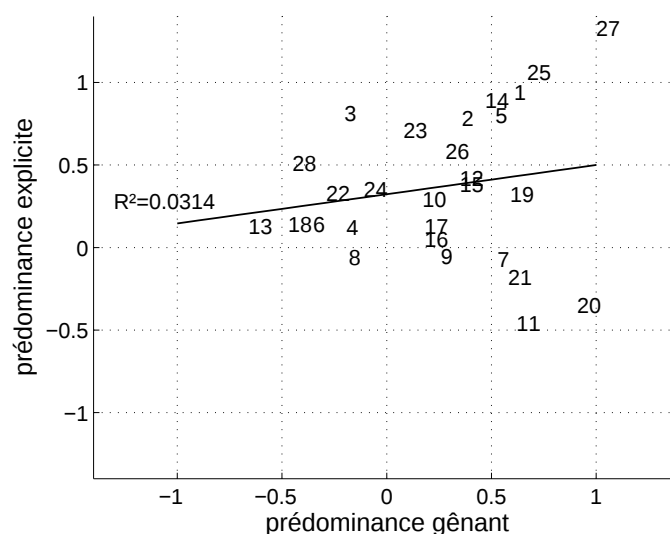


FIG. 9.10 – Relation entre prédominance des descripteurs *gênant* et *explicite* pour les 28 micro-séquences.

9.3.3 Relation entre les descripteurs *gênant* et *fort*

Pour chaque micro-séquence, la prédominance du descripteur *fort* est calculée, puis représentée avec celle du descripteur *gênant* (voir Figure 9.11). L'association des deux descripteurs est statistiquement significative ($r^2 = 0.4883$, $N = 28$, $p = 0.01$) : parmi les événements sonores les plus désagréables, on trouve une majorité d'événements de niveau sonore élevé (moteur, choc du hayon ou du transpalette). Ce résultat rejoint ceux de la littérature : gêne et désagrément sont souvent fortement corrélés au niveau sonore perçu [PAU 97].

Pour chaque micro-séquence, les indicateurs de gênes sont calculés et comparés aux scores des descripteurs *gênant* et *fort*. Le Tableau 9.2 présente les valeurs des coefficients de corrélation obtenus.

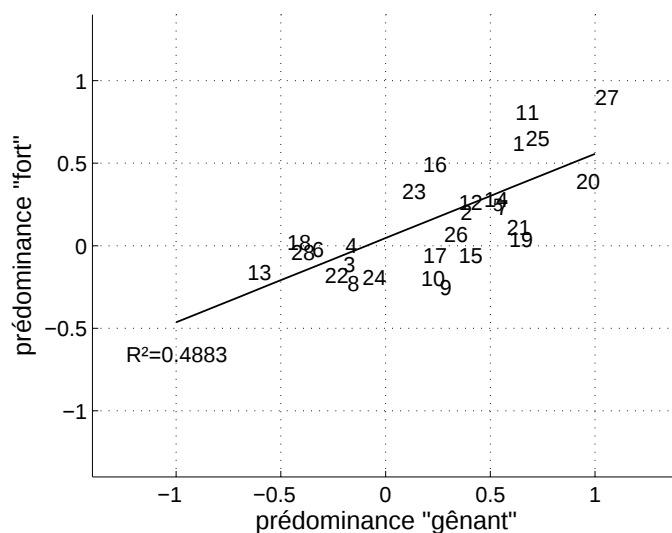


FIG. 9.11 – Relation entre prédominance des descripteurs *gèneant* et *fort* pour les 28 micro-séquences.

		<i>TS1</i>	<i>TS2</i>	<i>UBAd</i>	<i>UBAn</i>
<i>gèneant</i>	<i>r</i> (Pearson)	0.315	0.139	0.614**	0.574**
	<i>p</i>	0.102	0.482	0.001	0.001
	<i>N</i>	28	28	28	28
<i>fort</i>	<i>r</i> (Pearson)	0.316	0.256	0.836***	0.794***
	<i>p</i>	0.101	0.189	0.000	0.000
	<i>N</i>	28	28	28	28

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

TAB. 9.2 – Corrélations entre les descripteurs *fort* et *gèneant* et les modèles de désagrément de Terhardt et Stoll (*TS1* et *TS2*), d'*Unbiased Annoyance* diurne (*UBAd*) et nocturne (*UBAn*). La *Psychoacoustic Annoyance* (*PA*) ne peut être calculé car $S < 1.75acum$.

9.3.4 Relation entre le descripteur *gênant* et les autres descripteurs

La prédominance de chaque descripteur est calculée par micro-séquence, puis les coefficients de corrélation entre les descripteurs sont calculés. Les seuls résultats statistiquement significatifs sont obtenus pour les descripteurs *long*, *grinçant* et *régulier* :

- long-grinçant : $r(28)=0.423$; $p<0.05$
- long-régulier : $r(28)=0.600$; $p<0.001$
- régulier-grinçant : $r(28)=0.619$; $p<0.001$

9.4 Portraits verbaux

A partir de ces premières analyses des micro-séquences, on peut dresser une liste des couples *source/action* principaux et en dresser les portraits verbaux. Dans cette section, seuls quelques portraits verbaux associés aux deux sources principales de gêne, *moteur* et *hayon*, sont présentés. Les autres sont disponibles à l'Annexe E.3.

9.4.1 Actions liées aux bruits du moteur

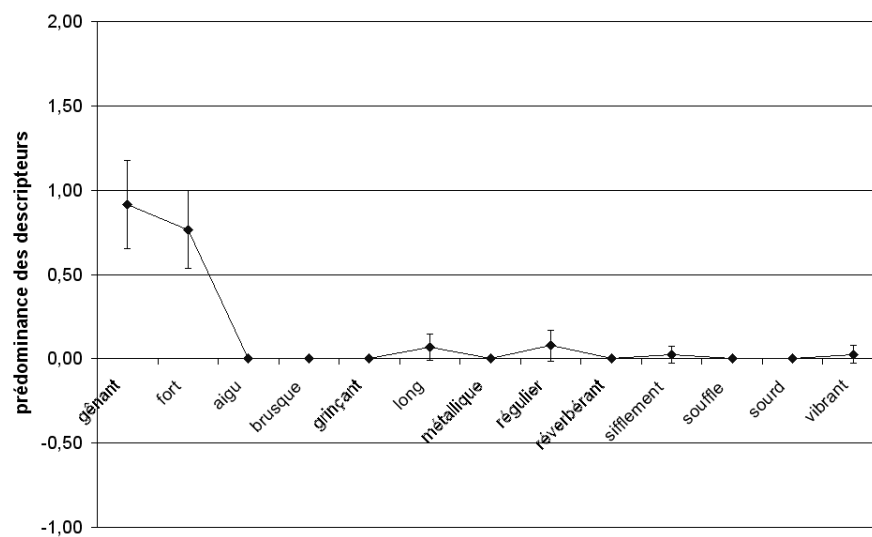
Les évènements liés aux bruits du moteur sont indexés suivant la source *moteur*. Dans le classement des micro-séquences, c'est le départ en accélération (MS27, action *accélérer*) et le démarrage du moteur (MS25, action *démarrer*) qui sont évalués comme les évènements sonores les plus gênants. Les portraits verbaux des couples *moteur/accélérer* et *moteur/démarrer* sont donc calculés (voir Figure 9.12). Il apparaît clairement que le désagrément dû aux bruits du moteur est essentiellement lié au niveau sonore (utilisation du descripteur *fort*).

9.4.2 Actions liées aux bruits du hayon

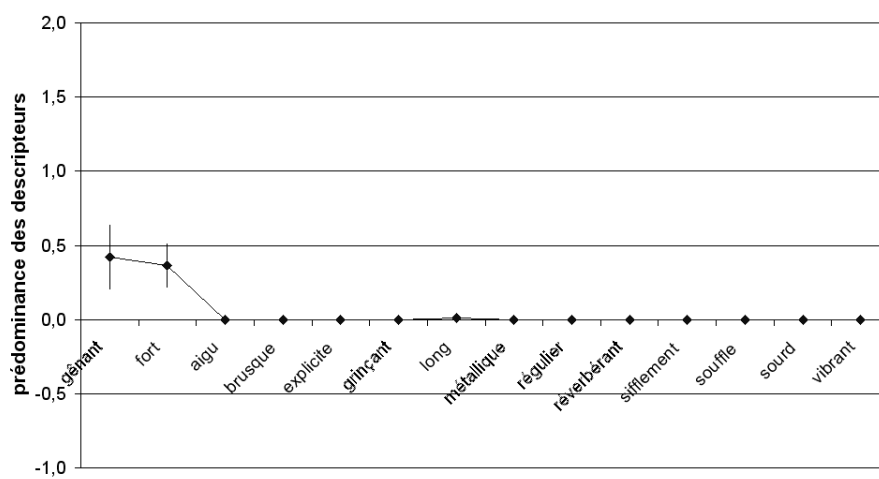
La Figure 9.13 présente trois portraits verbaux croisés : pour une même source, le *hayon*, trois actions différentes lui sont associées : *monter*, *descendre* et *taper* (qui regroupe l'ensemble des chocs se produisant en fin de course). Ce graphique montre que la descente du hayon n'est pas jugée gênante, contrairement à la montée et surtout, aux chocs. On voit ici clairement l'intérêt des portraits verbaux qui permettent de préciser le caractère désagréable associé à chaque source/action : la gêne produite lors de la montée est due à la durée de l'évènement mais aussi aux caractères *aigu*, *grinçant* et *sifflant* du son produit.

Choc du hayon à la fermeture (MS20)

Une des actions jugées les plus gênantes était le choc se produisant lors de la manipulation finale du hayon. Sur le portrait verbal obtenu (Figure 9.14), il apparaît clairement que la gêne est liée au niveau sonore mais aussi au caractère brusque de l'évènement.



(a)



(b)

FIG. 9.12 – Portraits verbaux de la source *moteur* associée à l'action *accélérer* (a) (MS27) et à l'action *démarrer* (b) (MS25).

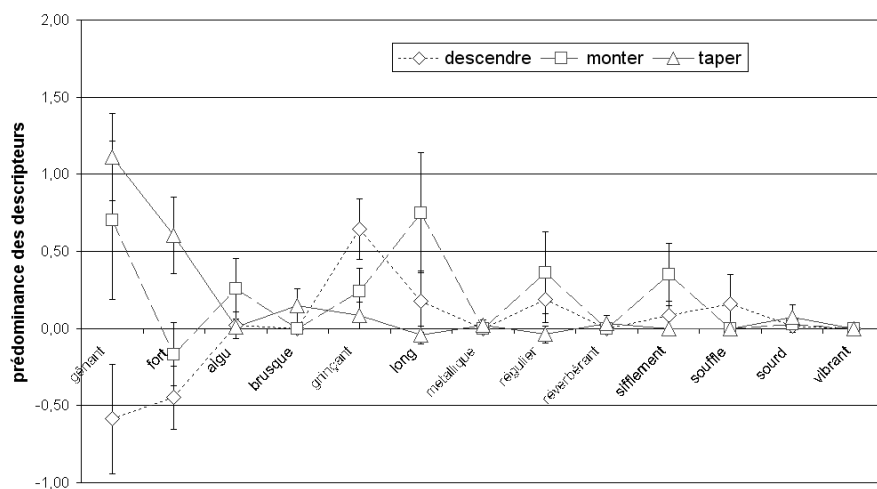


FIG. 9.13 – Portraits verbaux de la source *hayon* associée aux actions *descendre*, *monter* et *taper* (toutes MS confondues).

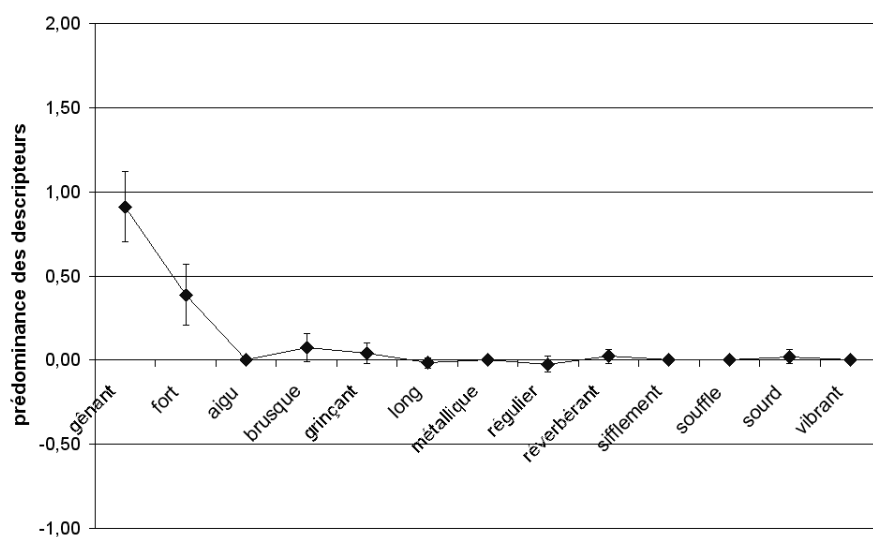


FIG. 9.14 – Portrait verbal de la source *hayon* associée à l'action et *taper* (MS20).

9.5 Conclusion

La méthode de verbalisations libres a permis d'obtenir des informations très riches sur la perception du désagrément par les auditeurs : non seulement les événements gênants ont pu être identifiés (bruits du moteurs et aux chocs) et hiérarchisés, mais ce désagrément a en plus pu être caractérisé de façon qualitative grâce aux portraits verbaux. L'analyse des relations entre les différents descripteurs a permis de mettre en évidence le fait que le niveau sonore est un facteur prépondérant dans l'évaluation du désagrément.

Cependant cette méthode a l'inconvénient d'être assez lourde à mettre en oeuvre : la transcription des verbalisations, la création de la base de données et l'indexation des unités verbales sont des étapes coûteuses en temps. Un autre désavantage lié au protocole est que, du fait de l'absence de comparaison, le nombre d'unités verbales récupérées est assez faible. Les analyses tirées des verbalisations sont donc à considérer avec précaution compte tenu des fortes variabilités inter-individuelles observées.

Chapitre 10

Analyses des réponses à l'évaluation continue

10.1 Faisabilité de la tâche

Comme pour les études précédentes, le coefficient de corrélation entre la réponse à la première évaluation continue (*EC1*) et celle à la seconde évaluation continue (*EC2*) est calculé. On suppose que les auditeurs ayant obtenu un fort coefficient de corrélation ont répondu de façon répétable et donc que leur réponse est fiable. Cependant aucune valeur n'est fixée dans la littérature pour définir la limite en dessous de laquelle les réponses ne sont plus considérées comme fiables. L'analyse des coefficient de corrélation des membres d'un jury se fait donc au cas par cas.

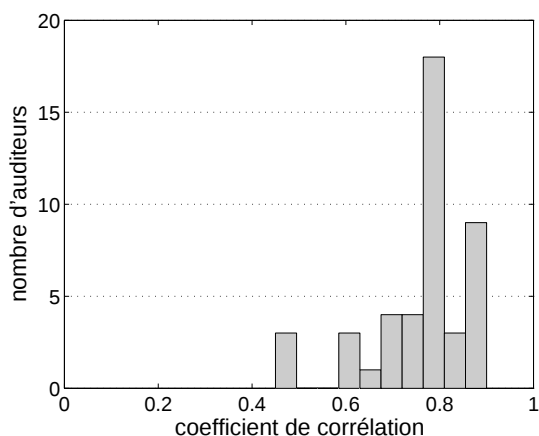


FIG. 10.1 – Distribution des coefficients de corrélation entre les réponses aux deux évaluations continues (panel de 45 auditeurs).

La Figure 10.1 représente la répartition des 45 auditeurs de l'étude, en fonction de ce coefficient. Trois auditeurs se distinguent du reste du jury avec un coefficient inférieur à 0,5. Les réponses individuelles de ces trois auditeurs sont vérifiées individuellement : la faible valeur du coefficient de corrélation provient, dans les trois cas, d'une modification assez importante de l'allure générale de la réponse. Toutefois la consigne semble avoir été respectée, ces trois auditeurs sont donc conservés pour l'étude.

Une analyse des réponses individuelles du second groupe d'auditeurs ($0,6 < r < 0,9$) n'a pas mis en évidence de réponse aberrante dans laquelle la consigne n'aurait pas été respectée. Le principe de vérification de la validité de la réponse des auditeurs en comparant les coefficients de corrélation obtenus entre deux réponses

d'un même auditeur semble donc une première analyse valable. Cependant, une vérification "manuelle" des réponses individuelles reste le meilleur moyen de détecter les auditeurs non fiables.

10.2 Réponse moyenne à l'évaluation continue

Une première analyse globale des résultats aux évaluations continues consiste à construire une courbe de réponse moyenne à partir des réponses individuelles. Sur la Figure 10.2, les moyennes des réponses sont présentées pour chacune des deux sessions, *EC1* et *EC2*. Les principaux évènements gênants sont alors aisément identifiables :

- l'arrivée [0s : 16s] et le départ [270s : 320s] du camion,
- trois montées de hayon aux allures similaires à 100s, 165s et 210s,
- 3 descentes de hayon : [73s :90], [127s :140s] et [189s :203s],
- les ouvertures/fermetures de portes cabine [16s :26s] et [254s :270s],
- la manipulation de la porte latérale [29s :50s].

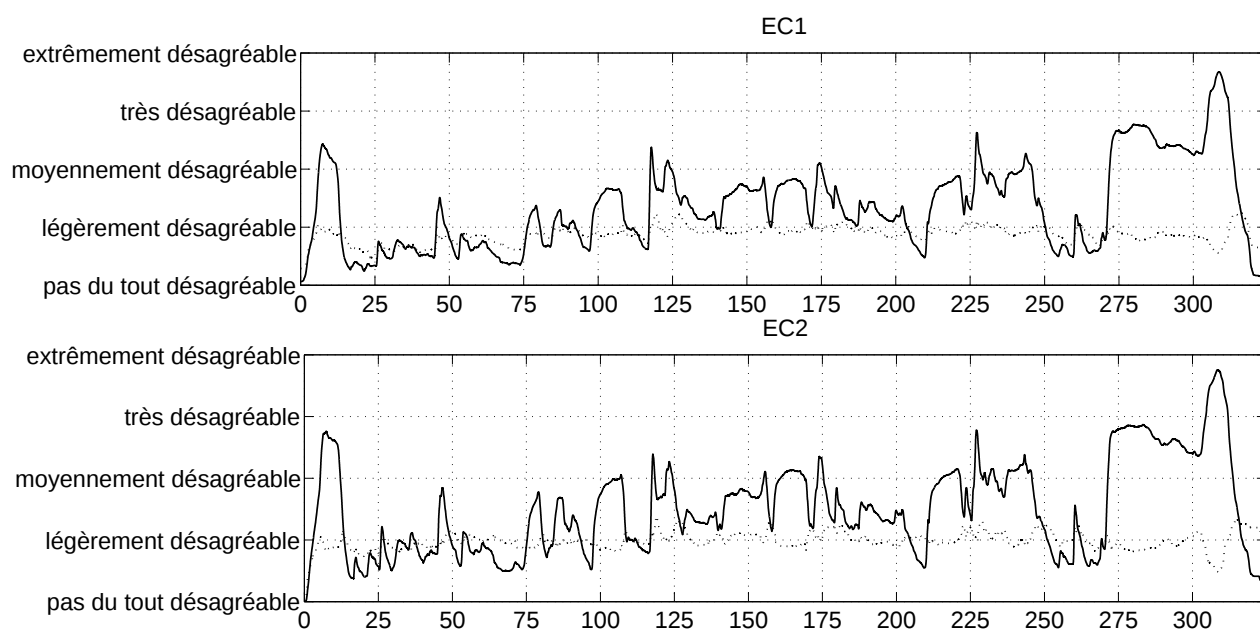


FIG. 10.2 – Moyenne arithmétique (trait continu) et écart type (pointillés) des réponses des auditeurs à la première (*EC1*) et à la seconde (*EC2*) évaluation continue.

Cependant les écarts-types obtenus (traits discontinus) sont assez élevés : de l'ordre d'une catégorie. Ceci peut être dû au fait qu'aucun recentrage des réponses en fonction du temps de réaction spécifique à chaque auditeur n'a été effectué avant le calcul de la moyenne. Les réponses des auditeurs sont "décalées" les unes par rapport aux autres, induisant une forte variabilité.

Il faut donc recalculer une moyenne en tenant compte des temps de réaction des auditeurs.

10.3 Calcul du temps de réaction des auditeurs

Le *temps de réaction* est défini comme le temps écoulé entre le début de l'évènement et une modification de la réponse de l'auditeur à l'évaluation (voir Figure 5.9(a)).

Deux méthodes sont testées pour calculer le temps de réaction moyen par auditeur. La première consiste à récupérer les temps de réaction de certains événements aisément détectables sur les réponses des auditeurs, puis à calculer un temps de réaction moyen par auditeur. Les événements pour lesquels le temps de réaction est récupéré sont des événements avec une enveloppe temporelle présentant une montée rapide de l'évènement. Il s'agit essentiellement d'évènements courts : les fermetures de portières cabine (13.8 s, 25.4 s et 259 s), fermeture de la porte latérale (44.7 s), choc du transpalette mis sur pied (116.4 s) et choc de la fermeture du hayon (225 s).

Deux problèmes apparaissent : d'abord, les courbes de réponse à l'évaluation continue ne permettent pas toujours la récupération du temps de réaction. Par exemple, lorsque la réponse de l'auditeur ne montre pas de modification significative pour le début de réaction à l'évènement. Il y a trop de données manquantes (26% de données non exploitables pour *EC1* et 16.7% pour *EC2*) pour permettre un calcul d'un temps de réaction moyen robuste. Ensuite, parmi les sujets dont les résultats sont exploitables, la variabilité intra-individuelle est importante : pour un même auditeur, les temps de réaction sont très variables d'un événement à l'autre (en fonction du type de l'évènement et/ou de sa localisation dans la séquence). Cette méthode de calcul du temps de réaction ne semble donc pas appropriée.

Une autre technique d'extraction du temps de réaction moyen des auditeurs consiste à prendre comme référence la courbe de niveau de pression en dB(A) de la séquence sonore (échantillonnée à 10 Hz). Pour chaque réponse des auditeurs, les courbes de réponse sont décalées progressivement dans le temps et le coefficient de corrélation entre les deux courbes est calculé pour chaque pas de temps (ici 100 ms). Le temps de réaction de chaque auditeur est obtenu lorsque le coefficient de corrélation entre les deux courbes est maximal (méthode utilisée par Kuwano et Namba [KN 85]).

Par cette méthode, on obtient un temps de réaction moyen des auditeurs de 0.9 s (écart-type de 2 s). Le même type de calcul est effectué mais en prenant comme courbe de référence la sonie ¹. On obtient un temps de réaction moyen de 1.1 s. Dans les deux cas, les valeurs obtenues restent proches de celles obtenues dans d'autres études utilisant la même méthode de calcul du temps de réaction : de l'ordre de 1 s pour les études sur la sonie [KN 85, WEB 91, HC 98, SUS 99].

Une analyse des temps de réaction en fonction des caractéristiques sociodémographiques des auditeurs a permis de mettre en évidence que le lieu d'habitation (urbain, péri-urbain ou rural) n'a pas d'influence significative sur le temps de réaction des auditeurs (Test T de Student, échantillons indépendants : $p = 0.213$). Il n'y a pas non plus de différence statistiquement significative entre auditeurs naïfs et auditeurs experts (Test T de Student, échantillons indépendants : $p = 0.715$). Par contre l'âge (Corrélation de Pearson : $r(45) = 0.491$; $p = 0.001$) et le sexe (Test T de Student, échantillons indépendants : $t(43) = 3.048$; $p < 0.01$) semblent avoir une influence sur le temps de réaction des auditeurs. La Figure 10.3 représente le temps de réaction des auditeurs en fonction du sexe et de l'âge. Ces résultats sont à considérer avec précaution : l'échantillon féminin est bien équiréparti, par contre l'échantillon masculin est composé à 50% de moins de 30 ans.

¹calculée sur le modèle de Zwicker et Fastl [ZF 99] avec le logiciel dBsonic

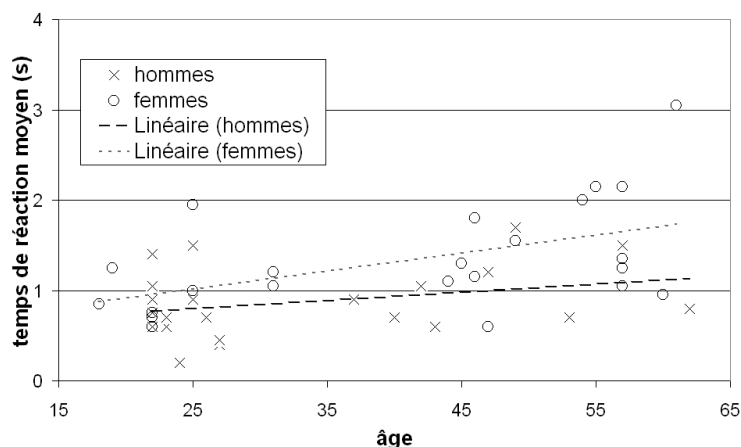


FIG. 10.3 – Temps de réaction en fonction de l'âge pour les sujets masculins (croix) et les sujets féminins (cercles).

10.4 Réponse moyenne recentrée

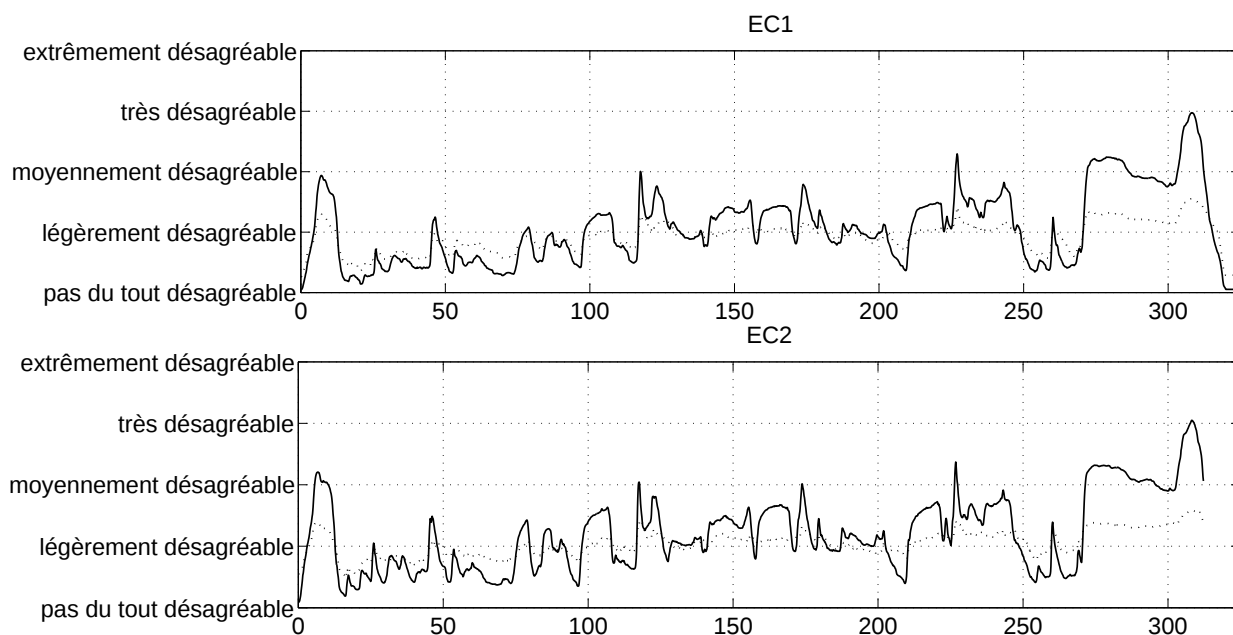


FIG. 10.4 – Moyenne arithmétique recentrée (trait continu) et écart type (pointillés) des réponses des auditeurs à la première (*EC1*) et à la seconde (*EC2*) évaluation continue.

Pour chaque auditeur, un temps de réaction moyen sur la séquence a donc été récupéré. Les réponses individuelles sont alors recentrées et un nouveau calcul de réponse moyenne est effectué (voir Figure 10.4). Les niveaux obtenus en moyenne sont plus faibles que ceux obtenus précédemment et les écarts types plus importants. L'idée de travailler sur une courbe réponse moyenne est abandonnée au profit d'une étude basée sur le découpage de la séquence sonore en micro-séquences.

10.5 Analyse des réponses par micro-séquences

Pour chaque sujet et chaque micro-séquence, le maximum d'amplitude du désagrément évalué par la méthode d'évaluation continue est relevé. Un score moyen de désagrément par MS est ainsi obtenu. En comparant les valeurs des réponses aux deux sessions d'évaluation continue (*EC1* et *EC2*), il semble que les auditeurs aient revu leur jugement à la hausse lors de la seconde évaluation, d'environ 1/4 de catégorie (différence des moyennes de 0.057 ; valeur statistiquement significative : test T de Student, échantillons appariés : $t(27) = 10.293, p = 0.001$). Par la suite, seules les données de la dernière session d'évaluation continue (*EC2*) sont utilisées pour l'analyse.

La Figure 10.5 représente le classement des MS par désagrément croissant. L'échelle va de "pas du tout désagréable" à "extrêmement désagréable". Les intervalles de confiance à 95% sont représentés de même que la probabilité p de T (Test T de Student, échantillons appariés). Lorsque $p \geq 0.05$, la différence entre deux scores de désagrément croissant n'est pas statistiquement significative et les deux histogrammes correspondants sont liés par une ligne horizontale.

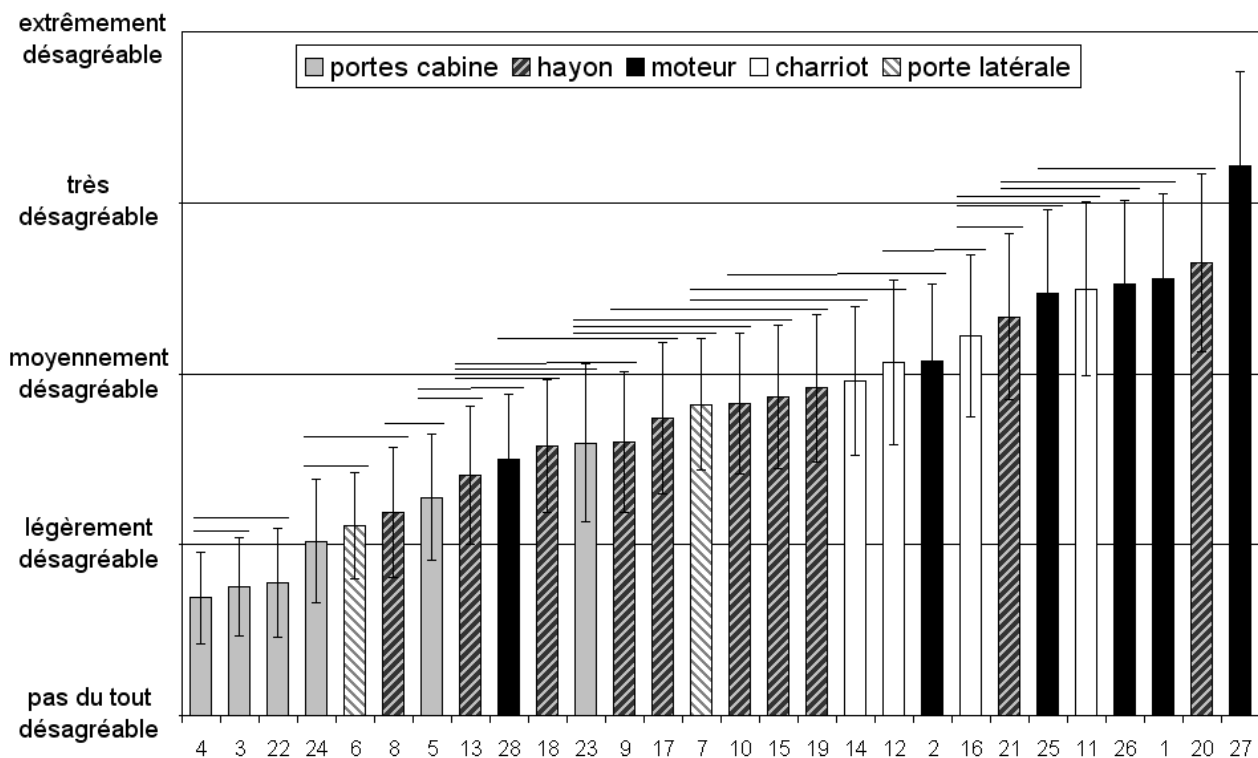


FIG. 10.5 – Classement des MS en fonction du désagrément exprimé lors de l'évaluation continue et intervalles de confiance à 95%. Les lignes horizontales représentent les différences non statistiquement significatives ($p \geq 0.05$) entre scores moyens de désagrément.

Cette représentation permet d'esquisser cinq groupes de micro-séquences en fonction du désagrément évalué :

- MS4, 3 et 22 : ces trois micro-séquences ont été jugées comme les moins désagréables, avec des scores inférieurs à "légèrement désagréable". Elles sont liées à l'utilisation des portières cabine : MS4 et MS22 correspondent à des ouvertures, événements courts de faible niveau sonore, alors que la MS3 correspond à la fermeture de la porte chauffeur en début de séquence. La faible valeur de désagrément obtenue pour

cette micro-séquence peut s'expliquer par la position de l'évènement dans la séquence : en comparaison des bruits du moteur qui la précèdent, le niveau sonore est moins important et la gêne ressentie bien moindre.

- MS24, 6, 8, et 5 : ces événements ont jugés "légèrement désagréables". Dans les trois cas, il s'agit d'ouvertures (de portes ou de hayon), événement sonore de faible niveau sonore, se produisant en début de séquence sonore.
- MS13 à MS2 : un groupe de 13 micro-séquences évaluées entre "légèrement désagréable" et "moyennement désagréable" dans lequel on retrouve la plupart des actions associées à la manipulation du hayon.
- MS16, 21, 25, 11, 26, 1 et 20 : dans ce groupe 7 micro-séquences évaluées entre "moyennement désagréable" et "très désagréable", trois micro-séquences sont liées à l'utilisation du moteur (MS1, 25, et 26), et deux correspondent à des chocs : MS11 et MS20. Dans tous les cas, il s'agit d'évènements dont les niveaux sonores sont parmi les plus élevés de la séquence.
- La micro-séquence 27, correspondant au départ en accélération du camion en fin de séquence, est l'évènement jugé le plus désagréable et ce de façon significative.

Il apparaît donc que la principale source de désagrément est le moteur : quatre des six micro-séquences les plus désagréables correspondent au bruit du moteur (MS1, 25, et). Le choc du transpalette au sol (MS11) et le choc du hayon en fin de remontée (MS20) apparaissent aussi en début de classement. Ceci est probablement dû à l'association d'un niveau sonore élevé et de la soudaineté de l'action (effet de surprise).

Pour chaque micro-séquence, différentes métriques du son sont calculées et comparées aux maxima d'amplitude du désagrément dans la micro-séquence. La sonie N_{max} est basée sur le modèle de Zwicker et Fastl [ZF 99] et l'acuité et la rugosité sur les modèles développés par Aures [AUR 85b]. Les résultats statistiquement significatifs sont présentés dans le Tableau 10.1.

	N_{max}	N	S	R
r (Pearson)	0.733***	0.794***	0.603**	0.395*
p	0.000	0.000	0.001	0.038
N	28	28	28	28
*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$				

TAB. 10.1 – Corrélations entre le désagrément évalué par l'évaluation continue et quatre métriques caractérisant le son : la sonie maximale (N_{max}), la sonie moyenne N , l'acuité moyenne S et la rugosité moyenne R .

La gêne est fortement liée au niveau sonore perçu. La Figure 10.6 présente les valeurs de désagrément obtenus en fonction du niveau de sonie moyenne. Ce résultat est comparable à celui obtenu lors de l'analyse des verbalisations libres mettant en évidence la relation entre les descripteurs *fort* et *gênant* (voir section 9.3.3). Il rejoint aussi ceux de précédentes études [BBL 76, ZWI 87, PMM 96, MM 98, HB 99, HFK 04] lors desquelles il a été mis en évidence que la sensation de sonie peut suffire à expliquer en grande partie la gêne ou le désagrément.

Une analyse détaillée de la Figure 10.6 amène à nuancer ce résultat : deux événements de sonies différentes peuvent présenter des niveaux de désagrément comparables. C'est le cas de la MS2 (ralenti moteur en début de séquence) et de la MS12 (déplacement du transpalette dans la remorque) pour lesquelles le niveau sonore perçu ne suffit donc pas à expliquer la valeur de la gêne. La position des événements dans la séquence sonore pourrait expliquer ce phénomène : un événement fort en début de séquence (MS2) est perçu comme aussi gênant qu'un événement de sonie inférieure situé plus loin dans la séquence (MS12).

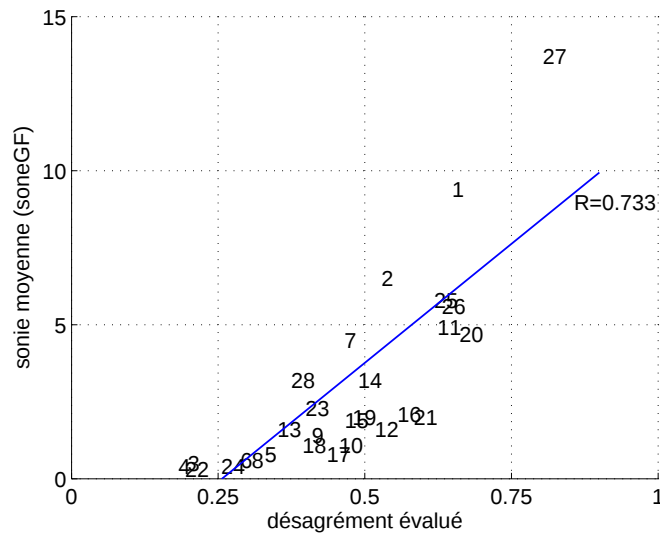


FIG. 10.6 – Relation entre désagrément maximum et sonie maximale (N en soneGF) pour les 28 micro-séquences.

Cette première hypothèse est confirmée par la comparaison des MS1, 25 et 26 : la source sonore est identique (le *moteur*), la sonie de MS1 est nettement plus élevée que celle des MS25 et 26 situées en fin de séquence et la gêne est sensiblement la même. Pour certains évènements de sonies équivalentes, comme M5 et 17 deux fermetures de porte (respectivement portière passager et partie haute du hayon), la gêne évaluée pour l'évènement en début de séquence est moins importante que celle pour l'évènement situé plus loin dans la séquence (l'écart est ici d'une demi catégorie de l'échelle de jugement). De même, la fermeture de la porte latérale (MS7) en début de séquence est évaluée une catégorie en dessous du choc du hayon à la remontée (MS20, aux 2/3 de la séquence), alors que leurs sonies sont proches et qu'il s'agit d'évènements assez similaires : bruit de chocs, i.e. bruits impulsionnels de fort niveau sonore. Ceci confirme donc l'influence de la position de l'évènement sonore dans la séquence sur l'évaluation de la gêne.

Une autre explication de la différence de désagrément évalué pourrait aussi être, outre le timbre, le contexte lié à l'évènement sonore, aux évènements antérieurs à l'évènement évalué : la fermeture de la porte latérale (MS7) s'inscrit dans une succession de manipulations de portes (cabine et latérales) alors que le choc du hayon (MS20) est une erreur de manipulation qui survient brusquement lors de la remontée du hayon. Dans le 2ème cas, les auditeurs ont probablement été surpris puisque le contexte ne leur permettait pas de s'attendre à ce type d'évènements. La nature de la source et le contexte associé semblent donc avoir une influence sur l'évaluation des évènements associés à cette source. En comparant, les MS12 et MS13, deux séquences successives et d'égale sonie, il apparaît que sonie et position dans la séquence n'expliquent pas les jugements de gêne. Dans ce cas, la source sonore, l'image que s'en fait l'auditeur, mais aussi le timbre de l'évènement évalué peuvent être les facteurs principaux influençant les jugements de la gêne.

Les valeurs de gêne évaluée par l'évaluation continue sont ensuite comparées à quatre modèles de désagrément². Les résultats sont présentés dans le Tableau 10.2. Le modèle de prédiction du désagrément le plus adapté est l'*Unbiased Annoyance*, jour et nuit, qui prend en compte à la fois acuité et rugosité, comme TS1 et TS2, mais aussi la sonie.

²La *Psychoacoustic Annoyance (PA)* ne peut être calculée car $S < 1.75$ acum.

	<i>TS1</i>	<i>TS2</i>	<i>UBAd</i>	<i>UBAn</i>
<i>r</i> (Pearson)	0.566**	0.601**	0.682***	0.651***
<i>p</i>	0.002	0.001	0.000	0.000
<i>N</i>	28	28	28	28
*** $p < 0.001$ ** $p < 0.01$				

TAB. 10.2 – Corrélations entre le désagrément évalué par l'évaluation continue et quatre modèles de désagrément : les modèles de désagrément de Terhardt et Stoll (*TS1* et *TS2*, voir chapitre 2.2.3), d'*Unbiased Annoyance* diurne (*UBAd*) et nocturne (*UBAn*).

Globalement, ces modèles de désagrément donnent des estimations du désagrément moins bonnes que la sonie seule : la plus forte corrélation est obtenue entre le désagrément évalué et la sonie moyenne. Ceci amène à se poser la question de savoir si, finalement, la tâche réelle effectuée par les auditeurs ne serait pas une tâche de détection plutôt que la tâche d'évaluation demandée.

10.5.1 Comparaison des résultats de désagrément obtenus avec les deux méthodes

Dans un premier temps, les scores de désagrément obtenus pour chaque micro-séquence par les deux méthodes sont comparés : ils présentent une bonne corrélation (Pearson : $r(28) = 0.734, p < 0.001$). Dans un deuxième temps, on s'intéresse au rang des micro-séquences en fonction de la méthode employée. Dans le Tableau 10.3 sont présentés pour une même micro-séquence, le rang en fonction du désagrément exprimé lors de l'évaluation continue (*EC2*) et celui extrait des verbalisations libres (*VL2*).

L'accord entre les deux hiérarchies est bon : $\rho(27) = 0.795; p < 0.001$ (Corrélation de Spearman). On retrouve bien les micro-séquences associées aux bruits du moteur (MS1, 25, 26 et 27) et les chocs forts et brefs (MS11 et 20) dans les événements les plus désagréables. Cependant, le rang de la micro-séquence 26 qui correspond à la marche arrière à la fin de la séquence, diffère entre les deux méthodes d'évaluation. Ceci pourrait être dû à une surestimation de l'importance du niveau sonore lors de l'évaluation continue : la corrélation entre scores de désagrément et niveau sonore est plus importante lors de l'évaluation (voir Tableau 10.1) que lors des verbalisations (corrélation descripteurs *gênant-fort*, section 9.3.3). Il est possible que le comportement des auditeurs lors de l'évaluation continue soit un peu biaisé au sens que l'auditeur réagirait lors de modifications importantes du signal (comme s'il devait détecter les événements et non quantifier leur désagrément). Un tel comportement a été relevé lors de l'expérience préalable sur les sons artificiels dont l'enveloppe temporelle influençait l'évaluation (plus l'augmentation du niveau du son désagréable était lente, plus l'évaluation du caractère désagréable était importante).

n° MS	Contenu des micro-séquences	rang <i>EC2</i>	rang <i>VL2</i>
27	départ en accélération	1	1
20	choc hayon	2	2
1	arrivée camion	3	6
26	marche arrière, ralenti moteur	4	14
11	choc transpalette	5	4
25	démarrage moteur	6	3
21	fermeture définitive hayon	7	7
16	roulement transpalette sur plancher	8	17
2	ralenti moteur + arrêt moteur	9	13
12	roulement transpalette sur plancher	10	12
14	manipulation transpalette à l'extérieur	11	10
19	fermeture hayon en plusieurs manoeuvres	12	5
15	remontée du hayon	13	11
10	remontée du hayon	14	18
7	fermeture porte latérale	15	8
17	fermeture partie haute hayon	16	16
9	ouverture et abaissement du hayon	17	15
23	fermeture porte passager	18	19
18	descente du hayon	19	27
28	éloignement du camion	20	26
13	descente du hayon	21	28
5	fermeture porte passager	22	9
8	déverrouillage hayon	23	21
6	ouverture, manipulation porte latérale	24	25
24	ouverture/fermeture porte chauffeur	25	20
22	ouverture porte passager	26	24
3	fermeture porte chauffeur	27	23
4	ouverture porte passager	28	22

TAB. 10.3 – Classement des micro-séquences en fonction du désagrément relevé dans les réponses à l'évaluation continue (rang *EC2*) et extrait des verbalisations libres (rang *VL2*).

10.6 Analyse d'évènements sonores

Dans la séquence de livraison étudiée, certains évènements sonores apparaissent plusieurs fois : ouverture/fermeture des deux portes cabine et montée/descente du hayon. Sur la Figure 10.5 présentant les scores de désagrément obtenus par micro-séquences, il apparaît qu'il ne semble pas y avoir de différence statistiquement significative ni entre les trois montées (MS10, 15 et 19) ni entre les trois descentes du hayon (MS9, 13 et 18). Par contre, il existe des différences statistiquement significatives entre les fermetures de portières en début (MS3, porte chauffeur, et MS5, porte passager) et fin de séquence (respectivement MS23 et MS24). Ces résultats sont obtenus en observant uniquement le maximum d'amplitude de la valeur du désagrément dans la micro-séquence concernée, il ne s'agit pas d'une étude détaillée de l'évènement sonore.

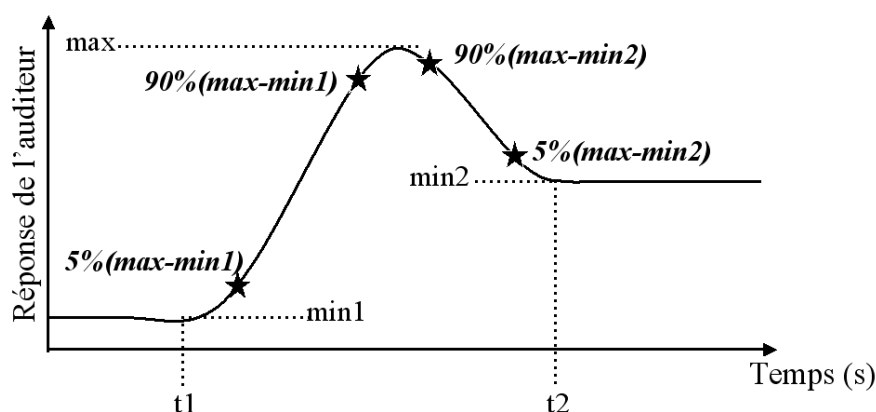


FIG. 10.7 – Schéma des paramètres sélectionnés pour construire une courbe squelette modifiée - Chaque courbe est schématisée par un trapèze défini à partir des niveaux de désagrément maximal max , minimal avant l'évènement $min1$ et minimal après l'évènement $min2$ et par les points correspondants à 5% et 90% de $max - min1$ sur la phase montante et de $max - min2$ sur la phase descendante.

Pour chaque évènement de type ouverture/fermeture de porte cabine, des courbes squelettes sont construites afin de déterminer s'il existe une "empreinte" caractéristique de l'évènement sonore à travers l'évaluation qu'en font les auditeurs et de sa position dans la séquence. La construction des courbes squelettes est inspirée du modèle de Lallemand et al [LGRC 99] (voir section 3.3.2). Dans la présente étude, le niveau de base avant et après l'évènement n'est pas nul, c'est la raison pour laquelle les niveaux à 90% et 5% sont à la fois basés sur le désagrément maximum évalué et sur la valeur du désagrément avant et après l'évènement : la Figure 10.7 présente les variables récupérées ($min1$, $min2$, max) pour chaque évènement et celles calculées pour construire la courbe squelette ($5\%(max - min1)$, $90\%(max - min1)$, $90\%(max - min2)$ et $5\%(max - min2)$). Pour chacun de ces points, amplitude du désagrément et temps d'occurrence sont récupérés pour chaque auditeur. Afin de pouvoir comparer les courbes squelettes d'évènements ayant eu lieu à des dates différentes, l'échelle temporelle de chaque évènement est modifiée de manière à ce que l'origine des abscisses corresponde au temps pour lequel l'amplitude vaut $5\%(max - min1)$.

Pour chaque auditeur dont l'allure de la réponse à l'évènement permet de recueillir les 3 valeurs de base, une courbe squelette est construite à partir des 4 points calculés. La courbe squelette moyenne d'un évènement est obtenue en faisant la moyenne arithmétique pour chacun des 4 points du trapèze formant le squelette.

Dans le scénario de la séquence de livraison (Annexe C.2), les actions d'ouverture et fermeture des portes

cabine sont effectuées deux fois, en début et en fin de séquence. On distingue trois types d'évènement³ :

- fermeture de la porte chauffeur à 16.5 s durant MS3 et à 268.7 s durant MS24.
- ouverture de la porte passager à 21 s durant MS4 et à 254.5 s durant MS22.
- fermeture de la porte passager à 25.3 s durant MS5 et à 259.5 s durant MS23.

Pour simplifier la notation, les évènements seront désignés suivant la micro-séquence à laquelle ils appartiennent : la fermeture de la portière chauffeur en début de séquence (MS5) sera notée *ms5*.

La Figure 10.8 présente les courbes squelettes obtenues pour chaque type d'évènement en début et en fin de la séquence (le nombre d'auditeurs pour lesquels la réponse a été exploitable est spécifié entre parenthèses). L'axe des abscisses représente le temps : les courbes squelettes ont été recentrées sur $t_{5\%(max-min)}$ pour pouvoir être comparées. L'axe des ordonnées correspond au niveau de désagrément représenté sur l'échelle analogique catégorielle.

On retrouve les résultats déjà mis en évidence lors de la comparaison des scores moyens de désagrément : les différences de niveau entre les fermetures de portes en début et en fin de séquence sont statistiquement significatives alors qu'elles ne le sont pas pour l'ouverture. L'analyse de la durée du plateau entre évènement de début et de fin de séquence ne présente de différence statistiquement significative que pour l'ouverture de la portière passager (*ms4* et *ms22*, test T de Student, échantillons appariés : $t(15) = 3.547, p < 0.01$).

Une comparaison des durées des rampes de montée et de descente de chaque évènement, n'a montré une asymétrie de réponse statistiquement significative que pour les fermetures de portière passager *ms5* (différence de 0.16 s, écart type de 0.4 ; $t(33) = 2.239, p < 0.05$) et *ms23* (différence de 0.38 s, écart type de 0.66 ; $t(28) = 3.125, p < 0.01$).

³L'ouverture de la porte chauffeur ne sera pas étudiée car cet évènement sonore n'est pas détectable en début de séquence, masqué par le bruit du moteur en train de s'arrêter.

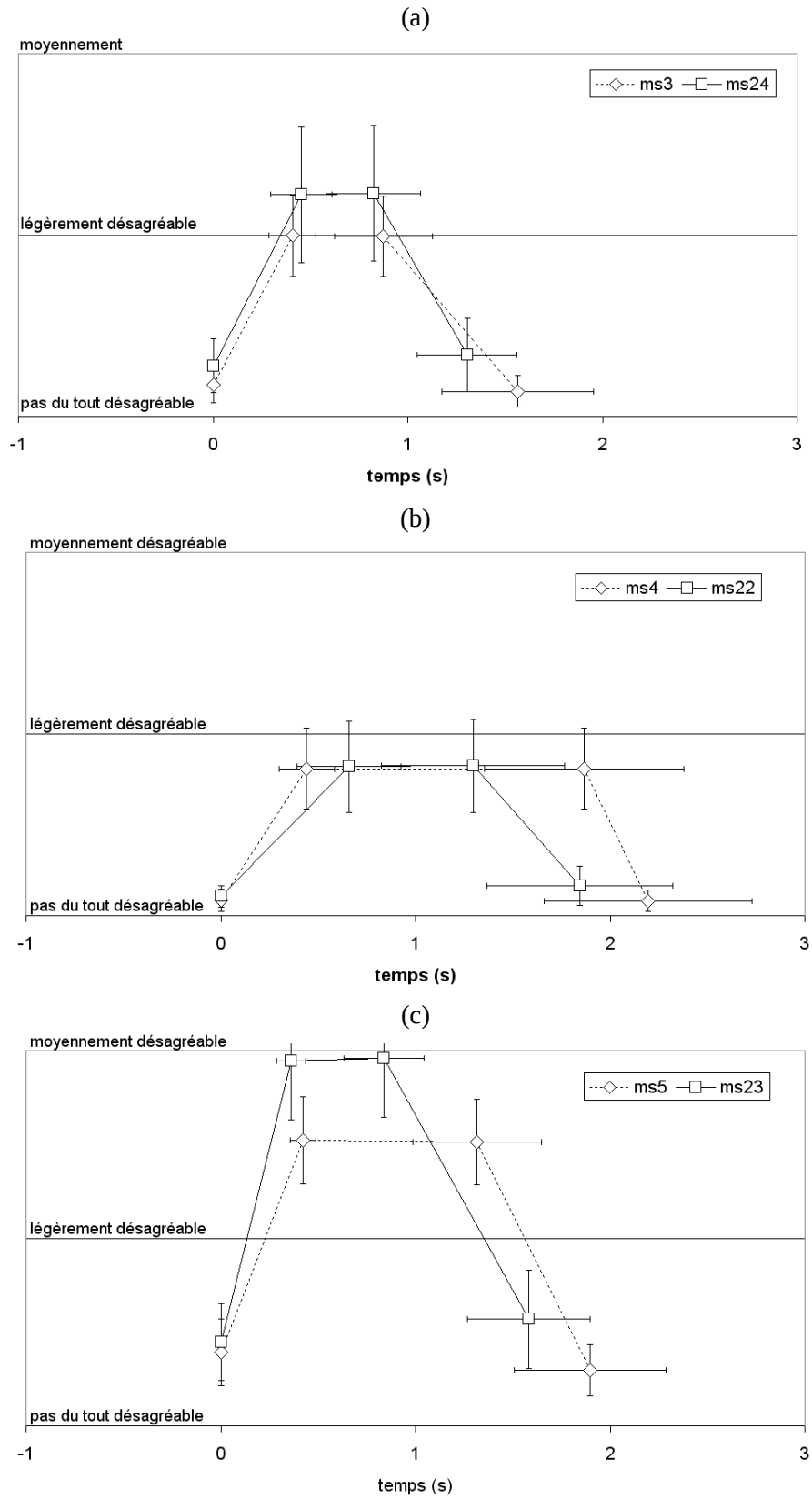


FIG. 10.8 – Courbes squelettes pour (a) la fermeture de porte chauffeur ($ms3$: 26 auditeurs ; $ms24$: 17 auditeurs), (b) l'ouverture de porte passager ($ms4$: 19 auditeurs ; $ms22$: 20 auditeurs) et (c) la fermeture de porte passager ($ms5$: 34 auditeurs ; $ms23$: 29 auditeurs).

Conclusion

Le but principal de cette étude a été atteint : les événements les plus désagréables de la séquence de livraison ont été mis en évidence grâce à la méthode d'évaluation continue. L'événement le plus désagréable est l'accélération du camion qui quitte la zone (MS27) ; d'autres bruits du moteur sont également désagréables (micro-séquences 1, 25 et 26). Le hayon est également une source importante (MS 11 et 16) de même que le transpalette (MS 20 qui correspond au choc du transpalette sur le plancher du fourgon). Or le hayon et le fourgon (car le caractère désagréable du choc du transpalette est dû aux résonances dans le fourgon et au rayonnement des parois de celui-ci) ne sont pas fabriqués par Renault Trucks (qui livre à un carrossier un véhicule composé d'un châssis motorisé et d'une cabine). Pour le constructeur, les efforts doivent donc porter essentiellement sur le moteur, et sur des préconisations plus sévères pour les autres intervenants de la réalisation du véhicule.

Les résultats de l'évaluation continue ont été confirmés par l'analyse des verbalisations libres : le désagrément de chaque micro-séquence a pu être quantifié à l'aide du descripteur *gênant* et une hiérarchie des événements établie. Cette classification s'est révélée équivalente à celle basée sur les niveaux de désagrément évalué par la méthode d'évaluation continue.

L'analyse des verbalisations libres a fournis de nombreux résultats complémentaires, en particulier sur l'identification des sources : le moteur du camion a bien été identifié, de même que les fermetures de portes ; en revanche, le hayon hydraulique a été beaucoup moins bien reconnu, ce qui est logique car il ne s'agit pas d'une source très familière aux auditeurs. L'examen des autres descripteurs extraits des verbalisations libres donne des informations complémentaires sur les causes du désagrément des sources. Ainsi, le moteur est exclusivement décrit (en plus de *gênant*) par des termes liés au niveau sonore : il s'agit donc de réduire ce niveau en priorité. En revanche, d'autres sources sont plus riches : par exemple, la remontée du hayon hydraulique est associée aux descripteurs *aigu*, *grinçant*, *long*, *régulier*, *sifflant*. Cette richesse descriptive permet d'imaginer des actions techniques permettant de diminuer la gêne. Enfin, il est apparu que dans un cas (claquement du hayon), le bruit était dû à une mauvaise manipulation de ce hayon : l'amélioration passerait ici par une ergonomie différente de la commande interdisant ce genre d'erreur.

Troisième partie

Application à la gêne dans les habitations

Introduction

Nous nous sommes ensuite intéressés à la perception des bruits de livraison par un résident. Pour cela, une nouvelle série de tests perceptifs a été mise en place. La séquence sonore précédemment étudiée a été filtrée pour simuler une écoute à l'intérieur d'un immeuble d'habitation. La gêne des séquences filtrée et non filtrée a été évaluée à la fois par la méthode d'évaluation continue utilisant l'échelle analogique catégorielle, mais aussi par une méthode d'évaluation globale : à la fin de chaque séquence sonore, il était demandé à l'auditeur de noter la gêne globale de la séquence en positionnant le curseur le long de cette même échelle.

Les objectifs de cette étude sont donc multiples : il s'agit d'abord de mettre en évidence les événements perçus comme gênants à l'intérieur d'une habitation et de les comparer à ceux perçus comme gênants depuis l'extérieur. D'autre part, cette nouvelle étude est l'occasion de vérifier la stabilité de la méthode d'évaluation continue en comparant les réponses obtenues pour la séquence en extérieur, identique à celle de l'étude précédente.

Chapitre 11

Protocole

11.1 Stimuli

Pour cette étude, il a été choisi de réutiliser la même séquence sonore que précédemment (voir Chapitre 6) mais en la réduisant, afin d'alléger la procédure de test et l'analyse des résultats. Puisque la source principale de gêne est le moteur, la partie de l'enregistrement en roulage est entièrement conservée. La partie en livraison est raccourcie. La nouvelle séquence sonore se compose des opérations suivantes (entre parenthèses, les correspondances avec les microséquences de la précédente séquence) :

- arrivée du véhicule + freinage + descente du chauffeur et manipulation des portes cabine (MS1 à MS5)
- descente de hayon + roulement du transpalette à l'extérieur + remontée du hayon (MS13 à MS15)
- manipulation des portes cabine + remontée du chauffeur dans la cabine + marche arrière + départ en accélération (MS 22 à 28)

La nouvelle séquence sonore dure environ 2min30. Le scénario détaillé de la nouvelle séquence de livraison est présenté à l'Annexe F. Cette séquence constitue le premier stimulus de l'expérience : il s'agit de la séquence dite *en extérieur*, notée *Ext*.

Afin d'obtenir la séquence sonore qui serait perçue à l'intérieur d'un immeuble d'habitation, deux filtrage sont appliqués : tout d'abord, pour passer d'un champ libre à un champ dans une rue en U, le modèle de Auzou et Rapin [AR 71] est utilisé :

$$L(\text{rue en } U) = 10 \cdot \log \left(\frac{\pi l}{h} \cdot th \left(\frac{\pi h}{l} \right) \right) + L(\text{libre}) \quad (11.1)$$

avec L pression acoustique (en Pa), l distance entre la façade et le source, et h hauteur de la source par rapport au sol (en mètre). Dans notre étude, $l=10$ m et $h=1.5$ m. Ce qui correspond à un gain d'environ 9.6 dB SPL.

Pour passer du bruit en façade au bruit à l'intérieur d'un immeuble, on utilise le $DnAT$, la différence entre le niveau à 2 m de la façade et le niveau du champ réverbéré dans le local pour un Tr de 0.5 s. Il s'agit de l'isolement normalisé procuré par une façade d'immeuble d'habitation récent situé en zone non bruyante, avec un mur comportant une fenêtre équipée d'un vitrage 4/16/4. Ces valeurs sont extraites de la base de données du logiciel ACOUBAT développé au CSTB (voir Tableau 11.1). En dessous de 100 Hz, le $DnAT$ est pris à 26 dB(A).

Les filtrages sont réalisés à l'aide du logiciel MTS Sound Quality (version 3.7). Dans cette version, la séquence obtenue après filtrage présentait des niveaux très faibles (de l'ordre de 30 dB(A) pour le ralenti moteur). La plupart des événements de la séquence de livraison (ie moteur éteint) devenaient quasiment inaudibles. C'est la raison pour laquelle le gain de 9.6 dB du filtrage champ libre/rue en U a été augmenté artificiellement de 10 dB.

Fréquence	$DnAT$	Fréquence	$DnAT$
100 Hz	26.0 dB(A)	800 Hz	36.0 dB(A)
125 Hz	26.0 dB(A)	1000 Hz	37.0 dB(A)
160 Hz	25.0 dB(A)	1250 Hz	38.5 dB(A)
200 Hz	15.0 dB(A)	1600 Hz	40.0 dB(A)
250 Hz	25.3 dB(A)	2000 Hz	39.0 dB(A)
315 Hz	28.0 dB(A)	2500 Hz	37.0 dB(A)
400 Hz	30.5 dB(A)	3150 Hz	33.0 dB(A)
500 Hz	31.0 dB(A)	4000 Hz	35.0 dB(A)
630 Hz	33.0 dB(A)	5000 Hz	38.0 dB(A)

TAB. 11.1 – Valeurs de l'isolement acoustique normalisé, $DnAT$, par tiers d'octave.

La séquence sonore ainsi filtrée est appelée séquence en *intérieur*, notée *Int*, et constitue le second stimulus de l'étude.

Les niveaux de pression en dB(A) pour chaque type de séquence sonore sont présentés Figure 11.1. Les différents événements constituant la séquence peuvent y être repérés : arrivée du véhicule de 0 à 15 s, manipulation des portes cabines (les trois pics en début de séquence entre 20 et 30 s ; en fin de séquence entre 80 et 100 s), manipulation du transpalette (entre 50 et 60 s), ralenti moteur et marche arrière (de 100 à 130 s) et départ en accélération (entre 130 s et 145 s).

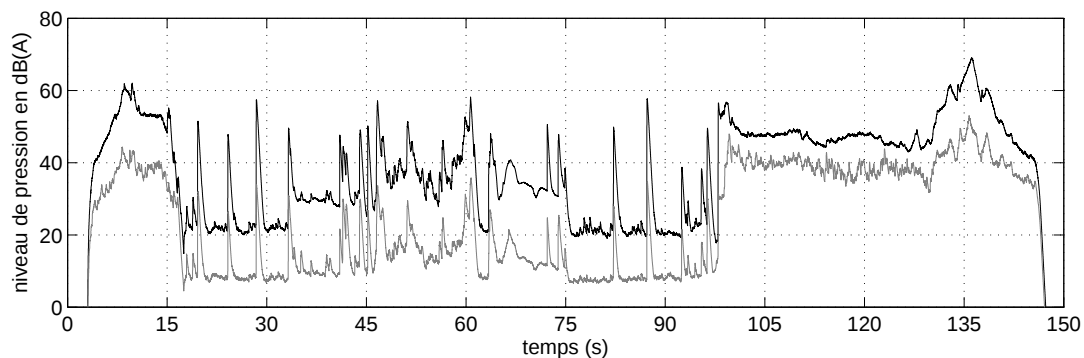


FIG. 11.1 – Niveaux de pression acoustique en dB(A) pour la séquence de livraison en extérieur (*Ext* : courbe noire) et pour la séquence de livraison en intérieur (*Int* : courbe gris clair).

Les fichiers des séquences sonores *Ext* et *Int* sont des fichiers wave, signed 16 bit, stéréo, échantillonnées à 22050z.

11.2 Procédure expérimentale

11.2.1 Attribut à évaluer

L'étude porte sur la perception des auditeurs dans une situation donnée : "Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle : camion de livraison qui arrive au petit matin à côté de chez vous". C'est donc l'adjectif *gênant* qui va être employé et non plus *désagréable*. La comparaison des résultats pour la séquence en extérieur avec ceux de la séquence évaluée dans la Partie II permettra de mettre en évidence si l'utilisation d'un des termes plutôt que l'autre modifie les réponses lors d'expériences en laboratoire.

11.2.2 Protocole du test perceptif

Chaque auditeur doit évaluer la gêne perçue pour les deux types de séquences sonores, *Ext* et *Int*. Chaque type est évalué deux fois : de la même façon que lors des précédentes études, il est considéré que la première écoute permet à l'auditeur de se familiariser à la fois avec le contenu de la séquence sonore et avec l'utilisation du boîtier. A la seconde évaluation, la réponse de l'auditeur est considérée comme plus fiable.

Les séquences *Int* et *Ext* sont présentées alternativement aux auditeurs. Afin d'éviter tout biais dû à l'ordre de présentation des séquences sonores, la moitié des sujets commence par l'évaluation de la séquence en intérieur et l'autre moitié par la séquence en extérieur. Ainsi, les quatre séquences sont présentées suivant deux ordres distincts : *Ext1/Int1/Ext2/Int2*¹ pour une première moitié d'auditeurs et *Int1/Ext1/Int2/Ext2* pour la seconde moitié.

Pour chaque séquence sonore, il est demandé au sujet d'effectuer une évaluation continue de la séquence suivie d'une évaluation globale. L'auditeur dispose du même dispositif d'évaluation que celui utilisé dans les deux premières expériences (voir section 4.2.3) : le boîtier est muni d'un curseur coulissant le long d'une échelle analogique catégorielle divisée en cinq catégories. Cette fois, les labels vont de "pas du tout gênant" à "extrêmement gênant". Lors de l'évaluation continue, la tâche de l'auditeur consiste à ajuster la position du curseur de manière à ce que sa sensation de gêne puisse être représentée sur l'échelle sémantique. De façon simultanée, la séquence sonore est jouée au casque (Stax Lambda Pro (électrostatique) pour une écoute dichotique). A la fin de cette première évaluation, il est demandé à l'auditeur de donner une note globale de gêne perçue pour la séquence qu'il vient d'écouter. Pour cela, il ajuste la position du curseur de manière à ce que la note donnée soit représentée sur l'échelle graduée du boîtier. La consigne fournie aux auditeurs est présentée Annexe G, Figures G.1 et G.2.

11.2.3 Auditeurs

Le jury est composé de 40 sujets âgés de 18 à 71 ans (moyenne : 33 ans) dont 22 femmes et 18 hommes. Les sujets ont déclaré ne pas avoir de problèmes d'audition. 67,5% des auditeurs ont déclaré vivre en milieu urbain, 25% en milieu péri-urbain. Seulement quatre d'entre eux ont déjà participé à des tests perceptifs. La majorité du jury est donc composé d'auditeurs "naïfs".

¹Le nombre, 1 ou 2, identifie, pour un même type de séquence, s'il s'agit de la première ou de la seconde présentation.

Chapitre 12

Résultats

12.1 Analyse des réponses à l'évaluation globale

Dans un premier temps, les scores obtenus par les deux groupes d'auditeurs (en fonction du type de séquence évaluée en premier) sont comparés. Un score moyen par type de séquence (*Int/Ext*) est calculé pour chacun des 40 auditeurs. Puis une ANOVA à un facteur, mesures non répétées, est effectuée pour les scores en extérieur et les scores en intérieur. Il apparaît qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs de gêne évaluée par les deux groupes d'auditeurs. Les analyses ultérieures seront donc réalisées sans distinction du groupe d'origine.

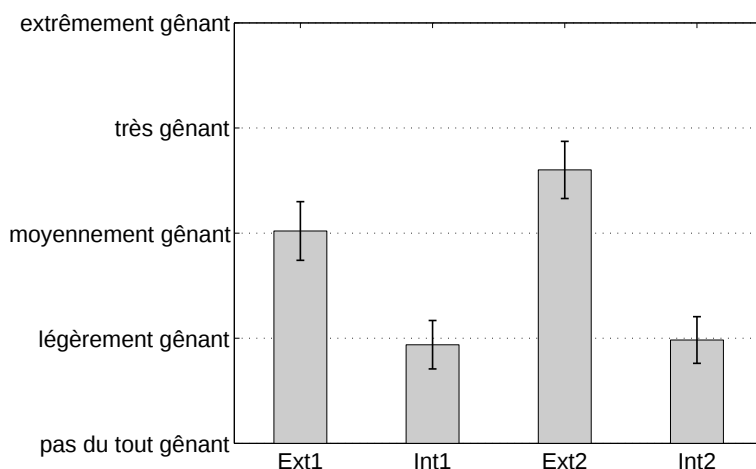


FIG. 12.1 – Scores globaux de gêne pour les quatre séquences sonores de livraison et intervalles de confiance à 95%. Séquence en intérieur (*Int*) et en extérieur (*Ext*) et suivant l'ordre de présentation (1 ou 2).

Afin de mettre en évidence, s'il existe une différence entre les jugements globaux de la séquence en extérieur et de la séquence en intérieur, un score moyen par auditeur est calculé pour chaque type de séquence. Un premier test T de Student (échantillons appariés) permet de mettre en évidence la différence statistiquement significative entre les scores obtenus pour les séquences en extérieur et en intérieur ($t(34) = 13.18; p < 0.0001$). L'écart moyen entre les scores en intérieur et en extérieur est d'environ 1.3 catégories de l'échelle de réponse.

Les scores globaux moyens sont ensuite calculés pour chacune des quatre séquences (voir Figure 12.1). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre la séquence en intérieur évaluée en premier (*Int1*) et celle évaluée en second (*Int2*). Par contre, le niveau de gêne obtenu pour l'évaluation globale de la seconde

séquence en extérieur (*Ext2*) est significativement plus important que celui de la première (*Ext1*) (test T de Student : $t(33) = 6.869, p < 0.001$). Cette différence correspond à une augmentation du niveau évalué d'environ une demi catégorie de l'échelle de jugement.

12.2 Analyse des réponses à l'évaluation continue

12.2.1 Faisabilité de la tâche

Six auditeurs sont retirés de l'étude soit pour n'avoir pas compris la consigne de l'évaluation continue, soit suite à des incidents survenus au cours des sessions de tests (bruits extérieurs). Pour les 34 sujets retenus, les coefficients de corrélation sont calculés entre les deux réponses à l'évaluation continue de chaque type de séquence. De la même façon que précédemment, cette procédure permet d'identifier des groupes d'auditeurs pour lesquels les réponses sont à inspecter individuellement. La Figure 12.2 présentent la répartition des coefficients de corrélation pour les deux types de séquences. Pour les deux types de séquences évaluées, on distingue deux groupes d'auditeurs : ceux dont le coefficient de corrélation est au dessus de 0.6, et ceux pour lesquels il est inférieur à cette limite arbitraire. Les profils de réponses de ces derniers sont examinés individuellement. Les réponses de ces auditeurs semblent cohérentes ; ils sont donc conservés pour la suite de l'étude.

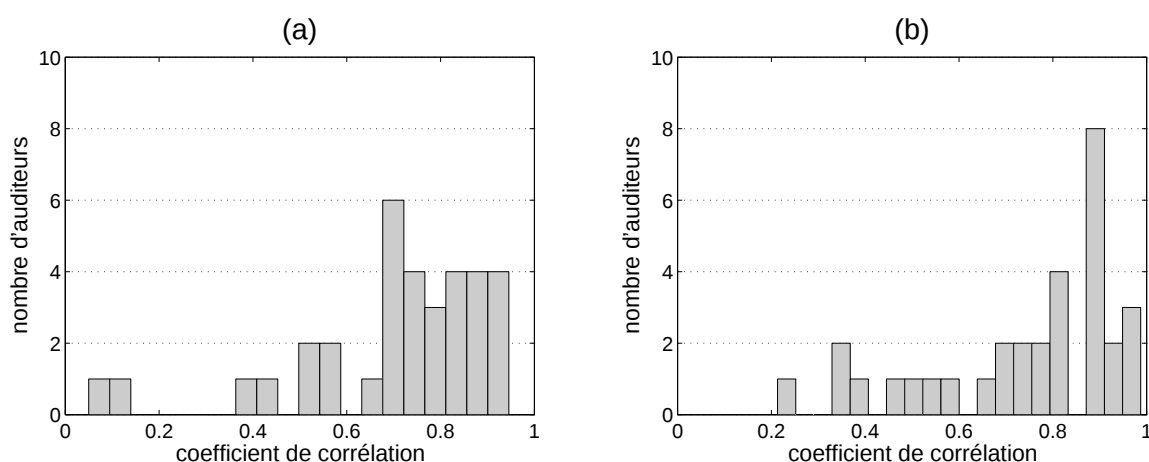


FIG. 12.2 – Répartition des coefficients de corrélation pour les réponses à l'évaluation continue de la séquence en extérieur (a) et de la séquence en intérieur (b).

L'analyse des verbalisations libres présentée porte uniquement sur les secondes évaluations continues effectuées pour chaque séquences : comme lors des études précédentes, la réponse de l'auditeur est considérée comme plus fiable lors de la seconde évaluation.

12.2.2 Calcul des réponses moyennes

Une première analyse des résultats aux évaluations continues consiste à construire la courbe de réponse moyenne à partir des profils de réponses individuels. Lors de l'étude précédente (voir Chapitre 10), il est apparu qu'une simple moyenne arithmétique sans recentrage des réponses permettait une identification correcte des principaux événements sonores gênants. Sur la Figure 12.3, les réponses moyennes aux deux évaluations continues sont représentées.

Pour les séquences en extérieur, les résultats obtenus précédemment (Partie II) sont retrouvés : prédominance du moteur, du hayon et du transpalette. Ces principaux événements gênants sont alors aisément identi-

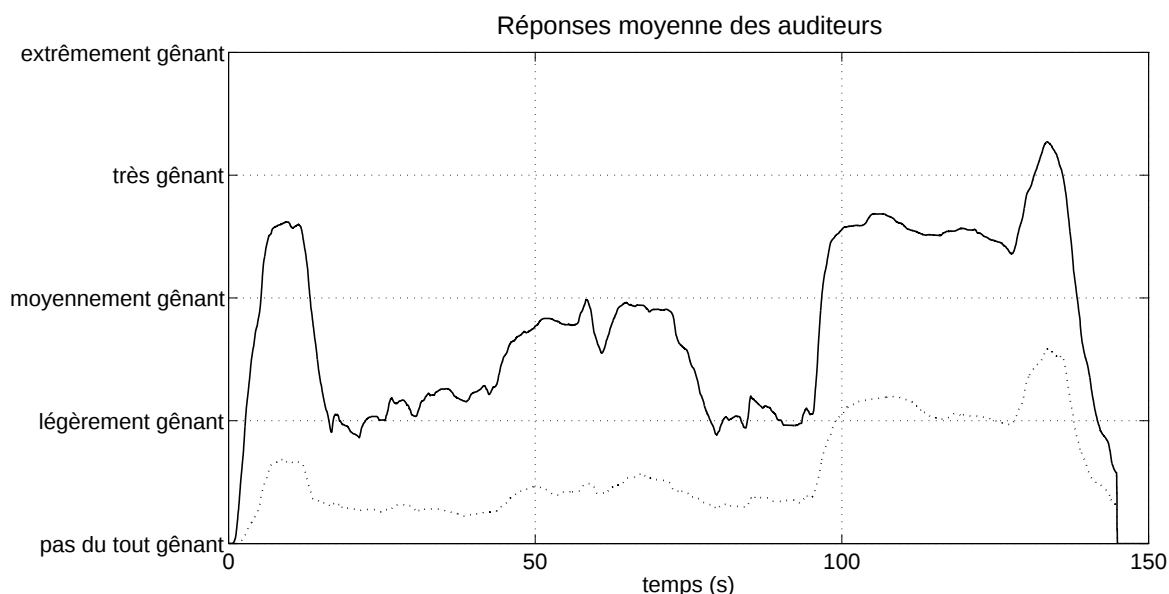


FIG. 12.3 – Moyennes arithmétiques des réponses des auditeurs : *Int2* en pointillés et *Ext2* en trait continu.

fiables sur les réponses moyennes *Ext* :

- départ en accélération du camion (130 s),
- ralenti moteur et marche arrière (de 100 à 125 s),
- arrivée du camion + freinage (de 0 à 10 s),
- choc du transpalette remontant sur la hayon (59 s),
- remontée du hayon (de 62 à 78 s)
- manipulation du transpalette à l'extérieur (44 s à 58 s).

Pour la séquence en intérieur, la principale source de gêne reste le moteur. Il apparaît que le niveau de gêne évaluée est plus important lors du ralenti moteur et de la marche arrière en fin de séquence (après 100 s) que lors de l'arrivée du véhicule en début de séquence. Cette différence n'apparaissait pas dans l'évaluation de la séquence en extérieur. Elle peut être liée au fort niveau sonore du premier harmonique moteur (autour de 43 Hz), beaucoup moins atténué par le filtrage façade que le reste du signal. Le choc entre transpalette et hayon (59 s) ainsi que les manipulation du hayon sont visibles alors que les ouvertures/fermetures de portières cabines n'apparaissent plus.

Les allures des courbes de réponses moyennes (Figure 12.3) semblent comparables à celle des niveaux sonore en dB(A) (Figure 11.1). Le Tableau 12.1 présente les corrélations entre deux indicateurs perceptifs du niveau sonore (niveau en dB(A) et sonie) et les réponses moyennes.

	$L(A)$	N
<i>Ext2</i>	R=0.713***	R=0.700***
<i>Int2</i>	R=0.777***	R=0.693***

***p<0.001

TAB. 12.1 – Corrélations entre courbes de niveau sonore en dB(A) ($L(A)$), sonie (N) et réponses moyennes aux quatre évaluations continues.

Même si le niveau sonore en dB(A) présente de bonnes corrélations avec les réponses moyennes, l'évolution temporelle du niveau global ne suffit pas à prédire les réponses des auditeurs : les claquements de portières se

traduisent par de fortes augmentations de niveau (à 15 et 35 s) qui ne se retrouvent pas sur les évaluations de la gêne de la séquence en intérieur.

12.2.3 Analyse par micro-séquences

Comme dans la précédente expérience, un découpage de la séquence sonore en micro-séquences chronologiques a été mis en place pour l'analyse des réponses à l'évaluation continue. Le Tableau F.1 (voir l'Annexe F) présente la liste des micro-séquences élaborées pour la séquence réduite. Elle reprend en grande partie le découpage issu de l'analyse des verbalisations libres de la précédente expérience. Seule la micro-séquence 14 a été divisée en deux nouvelles micro-séquences (MS7 et MS8) afin que le choc se produisant lors de la remontée du transpalette sur le hayon soit dissocié du reste de la micro-séquence lors de l'analyse. Pour chaque séquence évaluée, le maximum d'amplitude est récupéré par micro-séquence pour l'ensemble du jury.

La Figure 12.4 présente les scores moyens de gêne de chaque micro-séquence (histogramme gris clair pour les premières évaluations et gris foncé pour les deuxièmes). Il n'y a pas de différence statistiquement significative d'évaluation de la gêne entre les deux sessions d'évaluation de la séquence en intérieur. Par contre, la différence de niveau entre micro-séquences de *Ext1* et *Ext2*, lorsqu'elle est statistiquement significative, va de 1/3 à 1 catégorie de l'échelle de jugement.

La suite de l'analyse se basera uniquement sur les réponses aux secondes sessions (*Ext2* et *Int2*) pour lesquelles l'auditeur est considéré comme familier du contenu de la séquence sonore, des différences entre les deux stimuli en présence et de la méthode d'évaluation.

La Figure 12.5(a) présente les scores par micro-séquences de la session *Int2* ainsi que les différences non statistiquement significatives entre scores. Les événements sonores les plus désagréables concernent essentiellement le bruit du moteur : la micro-séquence la plus gênante est l'accélération du camion en fin de séquence (MS15). Viennent ensuite la marche arrière (MS14) et le ralenti moteur (MS13) en fin de séquence. Les niveaux de gêne perçue passent ensuite sous le niveau "légèrement gênant". On retrouve bien ce qui avait été mis en évidence sur les courbes de réponses moyennes (Figure 12.3) : le ralenti moteur en début de séquence est jugé statistiquement moins gênant que celui en fin de séquence. Viennent ensuite la remontée du hayon et les manipulations du transpalette. Les autres micro-séquences sont jugées très peu gênantes.

Une classification des micro-séquences de la session *Ext2* par scores de gêne perçue est présentée Figure 12.5(b). Sans surprise, le bruit du moteur est encore la source sonore jugée la plus gênante, suivie du choc et des manipulations du hayon. Les manipulations de portes restent les événements les moins gênants. Cette hiérarchie des sources correspond à celle mise en évidence lors de la précédente étude.

La comparaison des classifications des scores pour les deux types de séquence sonore, en intérieur et en extérieur, présente une bonne corrélation ($r(15) = 0.87; p < 0.001$). Ceci confirme la validité du choix de restitution initial : même si l'utilisation de la séquence enregistrée en champ libre et non filtrée n'est pas écologiquement valide, elle fournit tout de même une estimation correcte des principales sources de gêne : moteur, chocs et montée du hayon. Toutefois, l'évaluation de la séquence filtrée pour simuler l'écoute à l'intérieur d'un immeuble d'habitation a permis de détecter une des caractéristiques de la gêne associée au bruit du moteur : la présence du 1er harmonique moteur à 43 Hz, mal filtrée par la façade réglementaire.

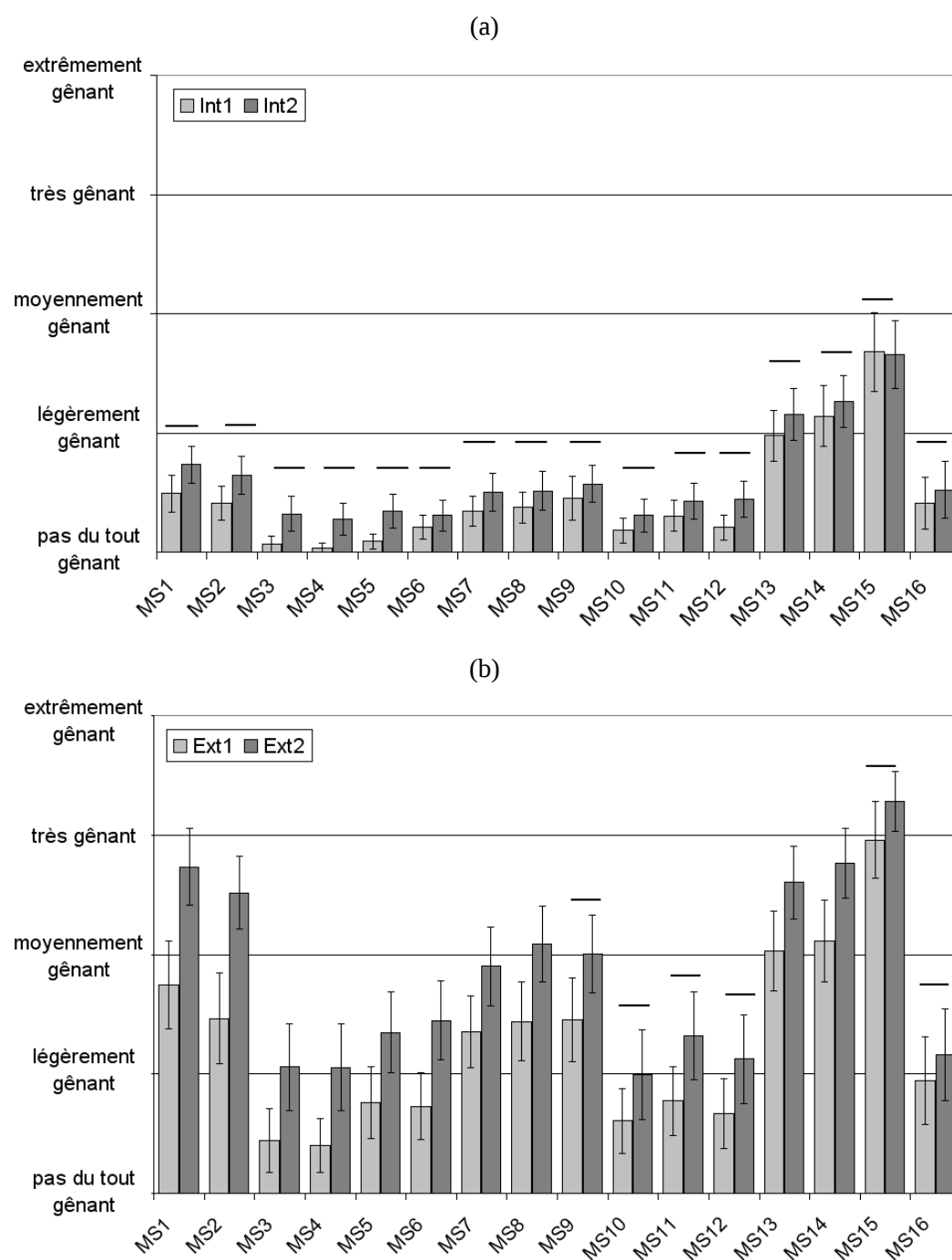


FIG. 12.4 – Scores de gêne par micro-séquence pour les deux types de séquences : (a) en intérieur et (b) en extérieur. Les histogrammes gris clair représentent les résultats de la première évaluation continue, ceux en gris foncé de la seconde. Les lignes horizontales entre deux histogrammes d’une même micro-séquence représentent une différence de niveau non significative ($p \geq 0.001$).

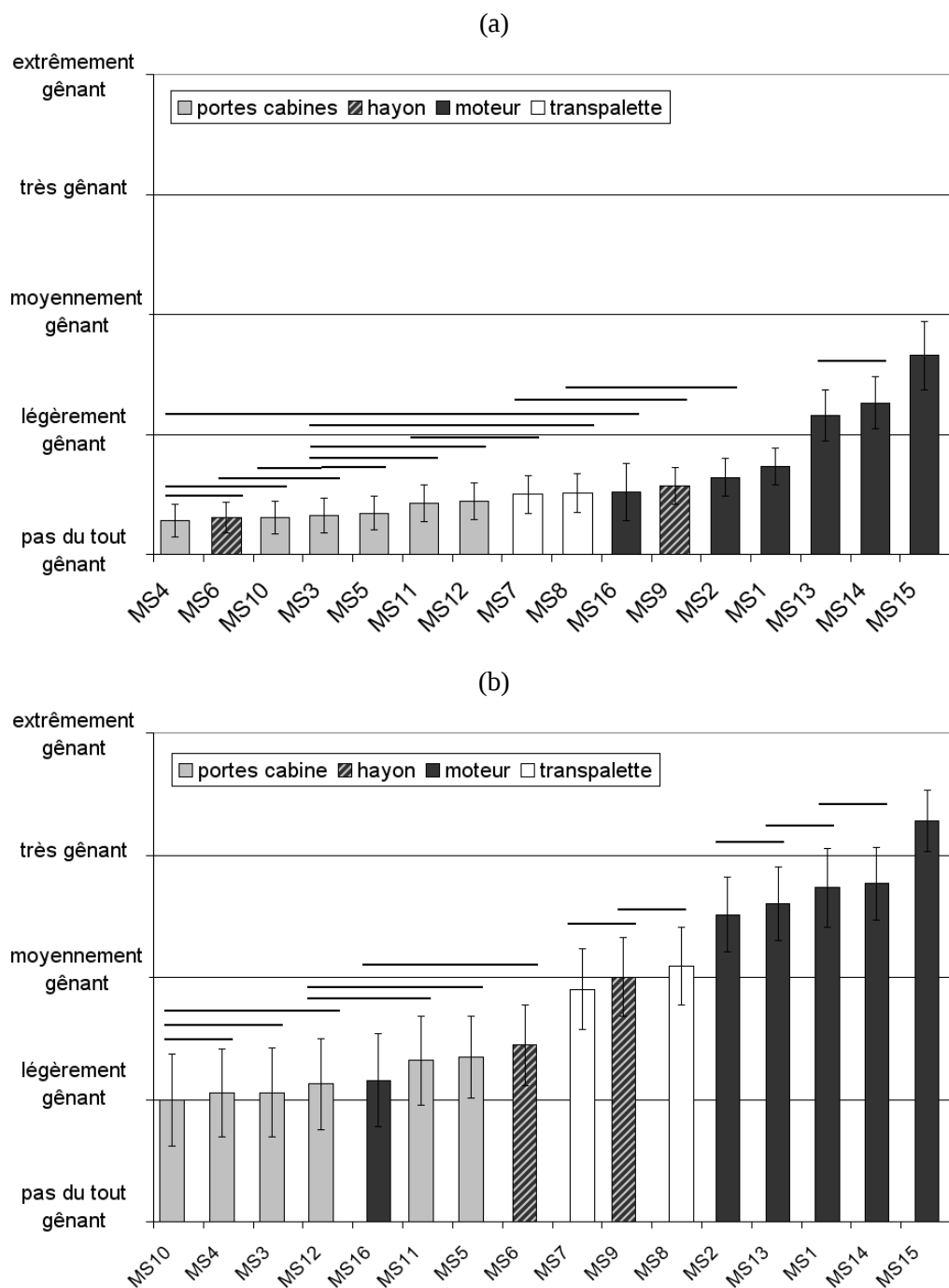


FIG. 12.5 – Classements des MS en fonction de la gène exprimée lors des évaluations continues (a) séquence en intérieur (*Int2*) et (b) en extérieur (*Ext2*) et intervalles de confiance à 95%. Les lignes horizontales représentent les différences non statistiquement significatives ($p \geq 0.05$) entre scores moyens de gène.

12.3 Comparaison des résultats entre évaluations continue et évaluation globale

Pour chaque séquence sonore évaluée, le maximum, la médiane et la moyenne des réponses à l'évaluation continue sont calculées pour chaque auditeur. Ces valeurs sont ensuite comparées aux scores issus de l'évaluation globale de ces mêmes séquences (voir Tableau 12.2). La moyenne à l'évaluation continue donne la meilleure corrélation avec le score global. C'est donc cette valeur que nous utiliserons pour l'analyse.

	moyenne EG
maximum EC	R=0.716***
médiane EC	R=0.741***
moyenne EC	R=0.773***

***p<0.001

TAB. 12.2 – Coefficients de corrélation entre réponses individuelles à l'évaluation continue (EC) et à l'évaluation globale (EG) pour l'ensemble des 4 sessions.

Sur la Figure 12.6, pour chaque auditeur sont représentées la moyenne de l'évaluation continue en fonction du score global, pour la séquence en intérieur (losanges) et celle pour la séquence en extérieur (cercles).

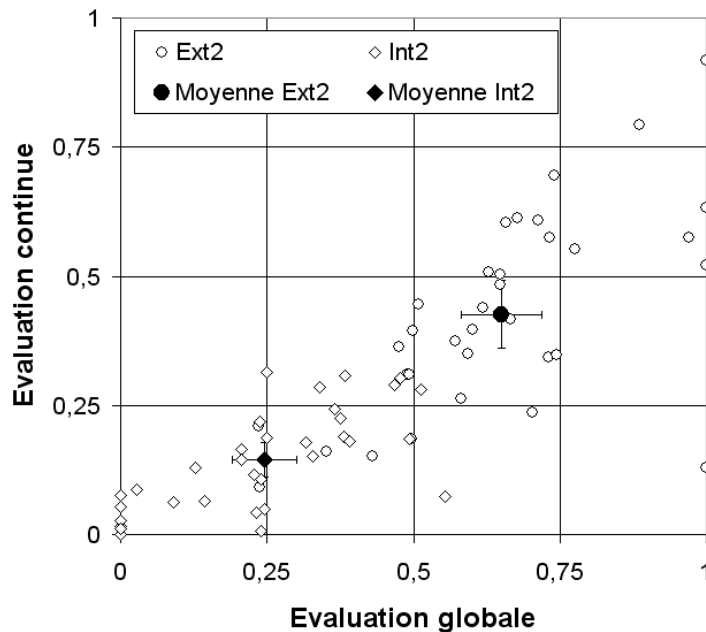


FIG. 12.6 – Comparaison des scores de gêne obtenus pour chaque auditeur par l'évaluation globale et la moyenne à l'évaluation continue (cercles blancs pour *Ext2* et losanges blancs pour *Int2*). Les scores moyens par type de séquence ainsi que leurs intervalles de confiance à 95% sont représentés symboles pleins (cercle pour *Ext2* et losange pour *Int2*). Les deux échelles correspondent à l'échelle analogique catégorielle de l'étude, allant de 0 : *pas du tout gênant* à 1 : *extrêmement gênant*.

Il apparaît que la différence entre scores moyens de l'évaluation continue et scores globaux est statistiquement significative pour la séquence en intérieur ($Int2 : t(33) = 4.922, p < 0.001$), avec une augmentation de 0.4 catégorie de l'échelle, de même que pour la séquence en extérieur ($Ext2 : t(33) = 7.747, p < 0.001$), avec une augmentation de 0.89 catégorie.

Dans la littérature [KN 85, KNH 97, KKKN 97, FAS 91], les valeurs de sonie globale perçue sont systématiquement plus importantes que les valeurs moyennes obtenues avec l'évaluation continue. Cette même tendance se retrouve ici pour l'évaluation de la gêne.

12.4 Analyse de la stabilité des réponses à l'évaluation continue

La séquence sonore en extérieur étant un extrait de la séquence sonore étudiée Partie II, il est possible de vérifier la stabilité de la méthode d'évaluation continue en comparant les résultats obtenus pour les deux expériences, réalisées à un an d'intervalle et avec un jury différent.

La comparaison des réponses moyennes n'est pas possible puisque la séquence initiale a été raccourcie. C'est l'analyse par micro-séquences qui permet d'effectuer cette comparaison. La figure 12.7 présente les valeurs moyennes des maxima de gêne évaluée par micro-séquences pour la séquence sonore d'origine (*EC2*, réponse à la 2ème évaluation continue) et pour la séquence sonore dite en extérieur (*Ext2*)¹.

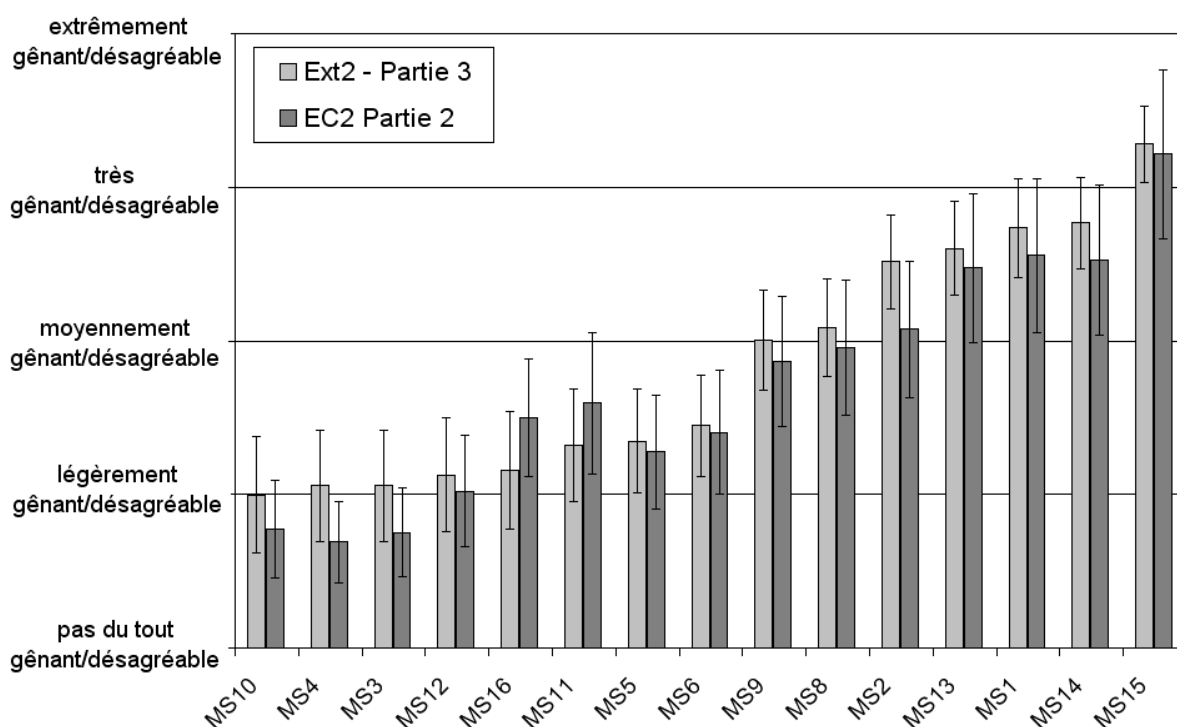


FIG. 12.7 – Comparaison des scores de gêne/désagréement obtenus respectivement lors de l'évaluation continue de *Ext2* et lors de l'évaluation continue de la précédente expérience *EC2* et intervalles de confiance à 95%.

Les classifications des micro-séquences par niveaux gêne ou de désagréement perçus sont quasiment identiques ($r(14) = 0.964; p < 0.001$). La répétabilité des résultats malgré un panel d'auditeurs différents nous permet de conclure à la stabilité des réponses à l'évaluation continue.

¹ Seules 15 micro-séquences sont comparées : MS7 et 8 de *Ext2* équivalent à MS14 de *EC2*.

Conclusion

Cette expérience a d'abord permis de mettre en évidence les principales sources de gêne perçue dans un immeuble d'habitation. Elles sont identiques à celles perçues en extérieur : il s'agit du bruit du moteur, de la montée du hayon et de la manipulation du transpalette. Il est apparu que, pour les périodes de ralenti moteur, le filtrage façade atténuait peu le premier harmonique moteur, probable cause de gêne évaluée en intérieur.

La comparaison des classifications des événements gênants en intérieur et en extérieur confirme la validité du choix de restitution initial. L'utilisation de la séquence enregistrée en champ libre (non filtrée) n'est certes pas écologiquement valide, mais elle permet d'obtenir une estimation correcte des principales sources de gêne (moteur, hayon, transpalette).

Enfin, la comparaison des résultats avec la précédente évaluation continue de la séquence de livraison non filtrée a montré la stabilité des réponses à l'évaluation continue, quel que soit la composition du jury (moitié experts, moitié naïfs dans le premier cas, entièrement composés de naïfs dans le 2e).

Les deux précédentes études ont montré que les principales sources de bruit, hormis le moteur, se rapportent à la manipulation du hayon et du transpalette. Ces éléments ne sont pas fabriqués par Renaults Trucks (qui livre à un carrossier un véhicule composé d'un châssis motorisé et d'une cabine). Pour le constructeur, les efforts doivent donc porter essentiellement sur le moteur, et sur des préconisations plus sévères pour les autres intervenants de la réalisation du véhicule.

Quatrième partie

Application au bruit d'accélération

Introduction

Lors de l'identification des sources sonores les plus gênantes au cours de la séquence de livraison (Parties II et III), il a été mis en évidence que l'évènement sonore le plus désagréable est l'accélération du camion quittant la zone de livraison. En collaboration avec Renault Trucks, il a été décidé d'étudier cette phase du roulage pour différents types de boîtes de vitesses proposées par Renault Trucks pour les applications concernées par l'étude. Une campagne de mesures ainsi qu'un test perceptif ont été menés afin de mettre en évidence l'influence sur la gêne perçue en fonction du type de boîte de vitesses et du type d'accélération.

Chapitre 13

Protocole

13.1 Objet de l'étude

Deux véhicules de la gamme MIDLUM ont servi aux enregistrements. La principale différence entre les deux modèles réside donc dans le type de boîte de vitesses : le 458M est muni d'une boîte de vitesses automatique (5 vitesses) permettant 4 modes de fonctionnement : le mode 1 (1er rapport uniquement), le mode 2 (1er et 2e rapports), le mode *Drive* (D, rapports 1 à 3) pour une conduite en milieu urbain et le mode *Ultra Drive* (rapports 2 à 5), pour une conduite sur route. Notre étude porte sur une utilisation en milieu urbain, c'est donc le mode D qui est choisi pour l'expérience. Le véhicule développant une puissance de 158 kW, il est chargé à 7900 kg¹. Les essais avec ce véhicule seront désignés par *auto*. Le second véhicule, le 246M, est muni d'une boîte de vitesses manuelle (6 vitesses). Le véhicule développe une puissance de 140 kW, il est donc chargé à 7000 kg. La configuration générale est identique à celle du 458M. Les enregistrements pour ce véhicule seront désignés par *manu*.

Les deux véhicules sont munis d'un moteur MD5², 190 ch Euro 4. A noter que le 246M est le véhicule prototype développé dans le cadre du projet LUT. Toutefois, lors de la campagne de mesures en accélération des bruits de boîtes de vitesses (début juin 2006), il n'était pas encore équipé des insonorisants modifiés et du mode low-noise (ajouts de systèmes passifs et actifs de réduction du bruit).

13.2 Protocole d'enregistrement

Les enregistrements ne concernent que les phases d'accélération du véhicule pendant lesquelles plusieurs changements de rapports ont lieu. Le protocole de mesure a été défini en collaboration avec l'équipe *Exterior noise* de Renault Trucks. Comme lors des précédentes campagnes de mesures, les recommandations du rapport PEAK [vNKD 03] servent de base à la définition du protocole de mesure. Dans un souci de simplicité et de répétabilité des mesures, seules les mesures en accélération "départ arrêté" ont été effectuées : le véhicule est à l'arrêt, au ralenti moteur, à l'entrée de l'aire de mesure. Puis le véhicule démarre et accélère en passant devant le mannequin, pour ensuite s'éloigner à vitesse stabilisée (40km/h) (voir Figure 13.1). Les enregistrements sont binauraux, effectués à l'aide d'un mannequin acoustique B&K, placé à 7.5 m du milieu de la piste.

Deux types d'accélération sont définies :

- l'accélération normale, notée *AN*, correspond à une utilisation normale du véhicule : les changements de rapports sont effectués à 1800 tr/min pour la boîte automatique et 1900 tr/min pour la boîte manuelle.

¹La procédure PEAK [vNKD 03] prévoit une charge de 50kg/kW. Ainsi la charge du camion correspond à 50% du poids de charge.

²Diesel injection directe suralimentée refroidi à injection haute pression pilotée électroniquement.

- l'accélération pied au plancher, notée *APP*, correspond à une accélération maximale du camion avec passage des rapports à environ 2300 tr/min pour les deux types de boîte de vitesses.

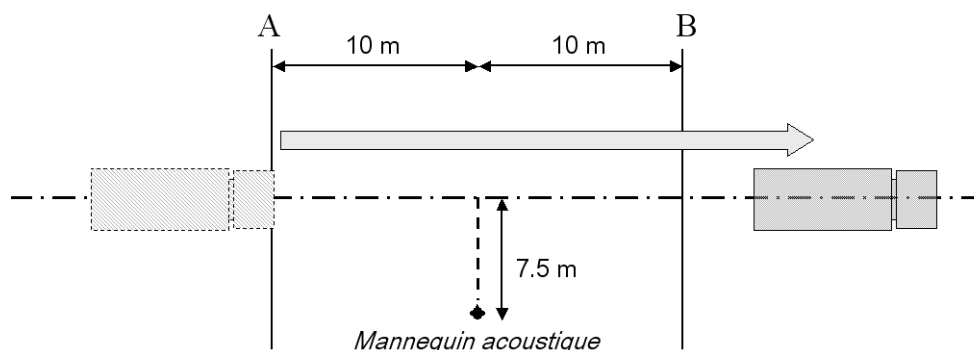


FIG. 13.1 – Schéma du protocole d'enregistrement, phase d'accélération.

Le Tableau 13.1 récapitule les quatre types de séquences sonores enregistrées pour cette étude. La durée moyenne d'une séquence est de 26 s.

	accélération normale	accélération pied au plancher
boîte automatique	<i>AN_auto</i>	<i>APP_auto</i>
boîte manuelle	<i>AN_manu</i>	<i>APP_manu</i>

TAB. 13.1 – Quatre configurations d'enregistrements des accélérations du camion, en fonction du type d'accélération (*AN/APP*) et du type de boîte de vitesses (*auto/manu*).

Les enregistrements sont au format Wave signed 16 bit, stéréo, échantillonnés à 22050 Hz.

13.3 Procédure expérimentale

L'évaluation perceptive du bruit de boîte de vitesses s'est déroulée lors de la même expérience que la précédente étude (Partie III) : lors d'une première session, les auditeurs évaluent les séquences de livraison en intérieur et en extérieur, puis, au cours d'une seconde session consécutive à la première, il leur est demandé de juger la gêne de plusieurs séquences sonores d'accélération du véhicule. Les avantages de ce protocole sont multiples : lors de l'évaluation des bruits de boîtes de vitesses, l'auditeur est déjà familier du contexte de l'étude (bruits de camion de livraison), mais aussi des méthodes d'évaluation (continue et globale), employées lors des deux sessions. De la même façon que précédemment, les séquences audio sont jouées au casque (écoute dichotique).

L'auditeur doit évaluer la gêne des quatre séquences sonores d'accélération. Chaque séquence est évaluée deux fois. Afin d'éviter l'effet d'ordre, les huit séquences sont présentées dans un ordre aléatoire. Pour chaque séquence sonore, il est demandé au sujet d'effectuer une évaluation continue de la séquence, suivie d'une évaluation globale. Toutes les évaluations se font à l'aide du boîtier à échelle analogique catégorielle. La consigne donnée aux auditeurs est présentée Annexe G (page 3). Le jury est identique à celui de l'étude sur les séquences en *intérieur/extérieur* (voir section 11.2.3).

Chapitre 14

Résultats

14.1 Analyse des réponses à l'évaluation globale

Quatre auditeurs sont retirés de l'étude pour n'avoir pas compris les consignes de test. Pour les 36 auditeurs restants, les scores globaux sont calculés pour les huit séquences évaluées. Il apparaît qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre deux évaluations globales d'une même séquence. Pour les quatre types de séquences d'accélération, les scores globaux sont calculés à partir de la moyenne arithmétique de l'ensemble des scores de gêne (voir Figure 14.1)

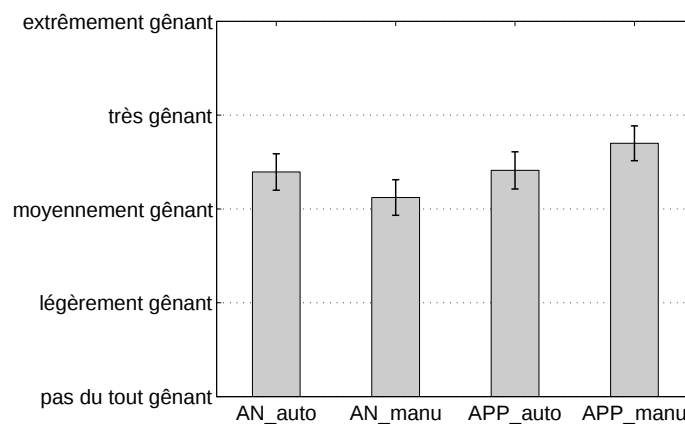


FIG. 14.1 – Scores globaux moyens de gêne pour les quatre séquences d'accélération et intervalles de confiance à 95%.

Une ANOVA (mesures répétées) a permis de mettre en évidence que le type de boîte de vitesses (manuelle ou automatique) n'avait pas d'influence sur les scores globaux de gêne, contrairement au type d'accélération ($F(136, 1) = 28.065, p < 0.001$). L'influence entre le type de boîte et le type d'accélération est elle aussi statistiquement significative ($F(36, 1) = 20.874, p < 0.001$). La boîte de vitesses manuelle est perçue comme la plus désagréable lorsque l'accélération se fait pied au plancher mais comme la moins gênante lors d'une accélération normale. La différence entre les deux types d'accélération n'est pas statistiquement significative pour la boîte de vitesses automatique.

Les scores obtenus sont ensuite comparés à différents indicateurs perceptifs du son. Seuls les indicateurs de niveaux sonores fournissent de bonnes corrélations : la sonie maximale, la sonie partielle à 5% et celle à 10% et

le niveau de pression maximal¹. Puis les modèles de désagrément sont calculés et comparés aux scores globaux. Seules l'*Unbiased Annoyance* et la *Psychoacoustic Annoyance* donnent des résultats comparables aux valeurs de gêne. Il semble donc que les jugements globaux soient fortement liés au niveau sonore de la séquence.

14.2 Analyse des réponses à l'évaluation continue

14.2.1 Plusieurs façons de répondre en continu

Un premier calcul de réponse moyenne par type de séquence permet de mettre en évidence une allure de réponse générale en forme de cloche quelle que soit la séquence évaluée (voir Figure 14.2).

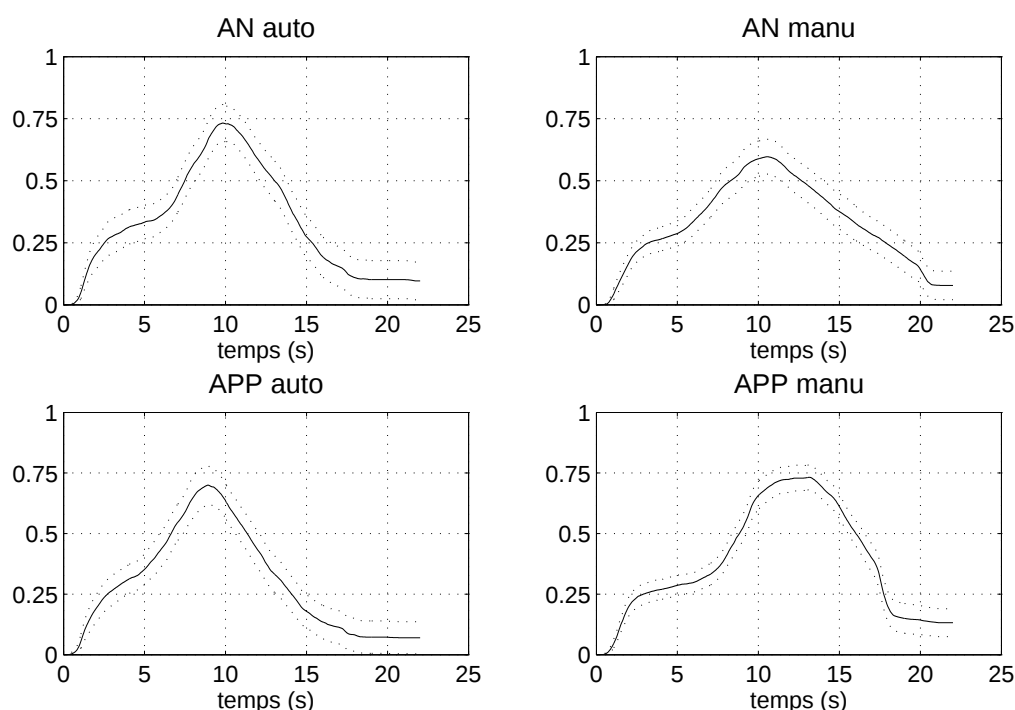


FIG. 14.2 – Réponses moyennes de gêne pour les quatre séquences d'accélération (trait continu) et intervalles de confiance à 95% (pointillés). Sur l'échelle des scores de gêne, 0 correspond à "pas du tout gênant" et 1 à "extrêmement gênant".

L'observation des réponses individuelles aux évaluations continues montre qu'il existe 3 types de réponses, dépendant de la réponse de l'auditeur en fin de séquence :

- type 1 : après avoir atteint un maximum d'amplitude, la gêne évaluée diminue pour atteindre un niveau nul en fin de séquence (234 réponses²),
- type 2 : après avoir atteint un maximum d'amplitude, la gêne évaluée diminue pour atteindre un niveau constant non nul en fin de séquence (44 réponses),
- type 3 : après avoir atteint un maximum d'amplitude, la gêne reste constante ; il n'y a pas de décroissance de la courbe de réponse (10 réponses). Ce type de réponse semble plus lié à une mauvaise compréhension de la tâche par le sujet, plutôt qu'à une réelle expression de la gêne en continu.

¹Ne sont présentés que les indicateurs de niveaux maximaux : les niveaux moyens dépendent fortement de la durée des stimuli, durée qui varie ici de 25 à 27.7 s.

² 2 évaluations pour chacune des 4 séquences d'accélération par 36 auditeurs : 288 réponses au total.

Pour chaque auditeur, 8 évaluations continues ont été récupérées. La majorité des sujets (26) répondent toujours de la même façon (types 1 et 2 uniquement). Cependant, il peut arriver qu'un même sujet fournisse des réponses de deux types différents (8 sujets) et plus rarement de trois types (2 sujets). L'ensemble des sujets sont conservés pour l'étude mais seules les réponses de type 1 et 2 sont utilisées dans la suite de l'analyse (278/288, soit 96.5% des réponses retenues).

14.2.2 Réponse moyenne à l'évaluation continue

Calcul de la réponse moyenne

Les réponses moyennes sont ensuite calculées à partir des types 1 et 2 uniquement. La Figure 14.3 présente les réponses moyennes aux évaluations continues et les niveaux de pression en dB(A) correspondants. Les profils moyens de réponses semblent fortement liés au niveau sonore.

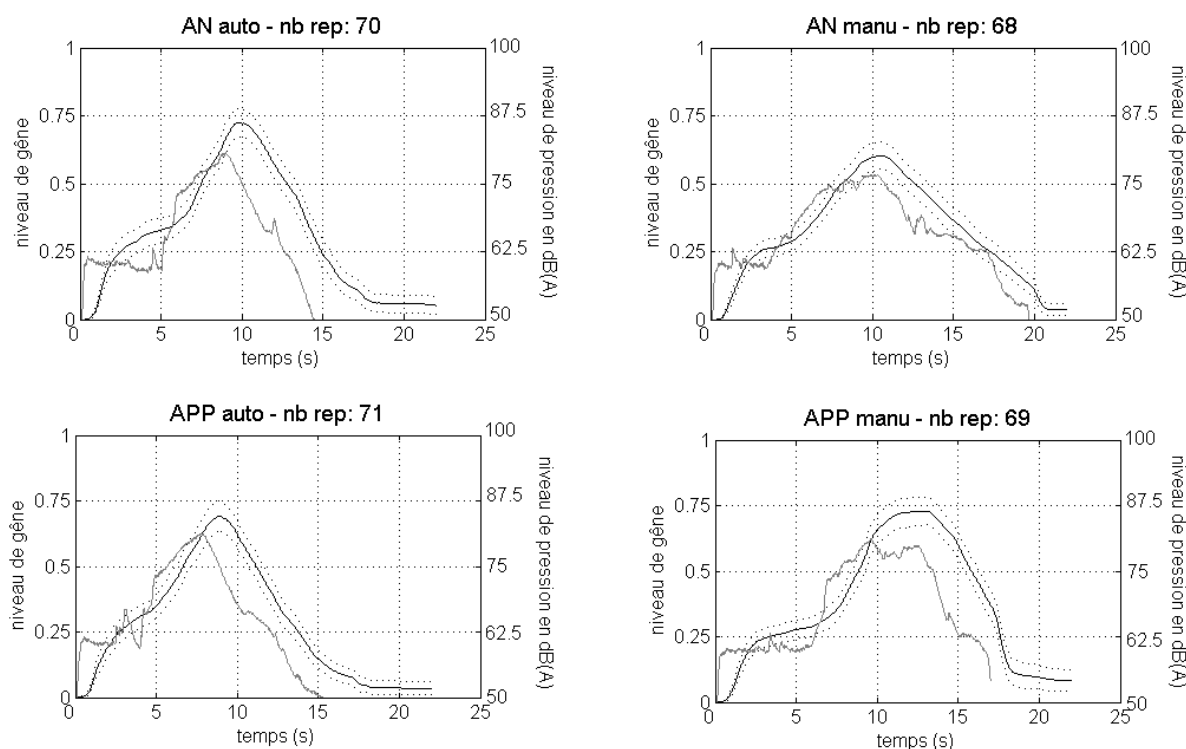


FIG. 14.3 – Réponses moyennes calculées à partir des courbes de réponse de type 1 et 2 pour les quatre séquences d'accélération (trait continu noir), intervalles de confiance à 95% (pointillés) et niveau de pression en dB(A) (trait continu gris). Pour chaque courbe, le nombre de réponses utilisées pour le calcul (nb rep) est précisé.

Pour chaque séquence d'accélération, la courbe moyenne de réponse est comparée aux courbes de pression en dB(A), de sonie, de rugosité, d'acuité. Les corrélations les plus importantes sont obtenues pour les courbes de niveau sonore :

Le profil de gêne moyen a un lien fort avec le niveau sonore. On retrouve donc bien la relation entre gêne et niveau sonore mise en évidence par le portrait verbal de l'accélération du camion (Partie II, micro-séquence 27) : la gêne due au bruit du moteur est essentiellement décrite par l'emploi du descripteur "fort", c'est à dire en relation avec le niveau sonore perçu.

Réponse moyenne	<i>AN_auto</i>	<i>AN_manu</i>	<i>APP_auto</i>	<i>APP_manu</i>
$L(A)$	0.735**	0.836**	0.790**	0.751**
N	0.722**	0.838**	0.760**	0.737**

TAB. 14.1 – Corrélations entre réponses moyennes aux 4 accélérations et niveau de pression en dB(A) ($L(A)$) et sonie (N).

Calcul des temps de réaction

Les profils de réponse en continu de la gêne semblent fortement liés aux profils des niveaux de pression en dB(A). Un calcul du temps de réaction suivant la méthode de Kuwano et Namba [KN 85] peut donc être envisagé, en calculant la valeur maximale du coefficient de corrélation entre la réponse de l'auditeur et le profil de niveau de pression acoustique en dB(A) (voir section 3.3.1). Les 278 réponses aux évaluations continues, échantillonnées à 100 Hz, sont comparées au niveau sonore pondéré A de la séquence correspondante.

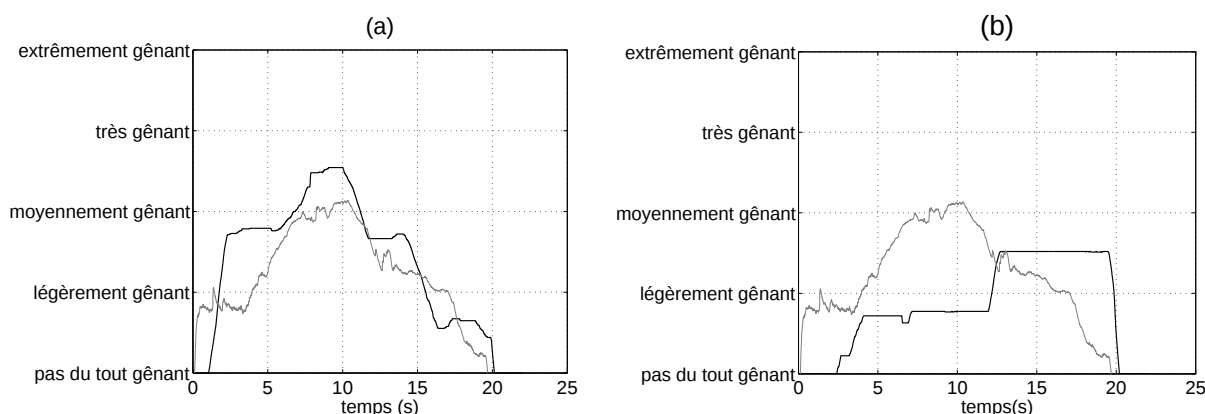


FIG. 14.4 – Deux exemples de cas pour lesquels le calcul du temps de réaction par la méthode de Kuwano et Namba [KN 85] ne fournit pas des résultats exploitables : (a) décalage de 0.01 s ; (b) décalage de 10 s. La réponse de l'auditeur (en noir) est représentée sans décalage par rapport à la courbe de niveau de pression en dB(A) (en gris).

Ce premier calcul n'est pas tout à fait approprié : pour 10% des réponses, le décalage obtenu ne correspond pas à la valeur physique recherchée, i.e. le temps de réaction de l'auditeur. Des valeurs extrêmes apparaissent dans deux types de cas, illustrés Figure 14.4 : le coefficient de corrélation est maximum pour un faible décalage de la courbe de réponse, le temps de réaction théorique obtenu est donc très faible (0.01 s). L'observation de la réponse de l'auditeur (Figure 14.4(a)) montre que ce décalage ne correspond pas à la valeur physique recherchée, le temps de réaction. Inversement, le coefficient de corrélation maximal est obtenu pour un décalage de plus de 10 s, valeur qui ne correspond pas au temps de réaction de l'auditeur (voir Figure 14.4(b)).

Le nombre important de valeurs aberrantes est probablement lié au fait qu'il s'agit d'une séquence de courte durée, composée d'un événement unique. Afin d'améliorer la méthode de calcul, les deux signaux utilisés (i.e. la réponse de l'auditeur et le niveau sonore en dB(A)) sont répliqués de façon à obtenir deux signaux périodiques (5 fois le signal initial mis bout à bout). Le calcul du temps de réaction par la méthode de Kuwano et Namba est alors effectué avec ces signaux périodiques. Le taux de valeurs aberrantes n'est plus que de 2.8%.

Pour l'analyse statistique, le jury est réduit à 25 auditeurs. Il s'agit des sujets pour lesquels les temps de réaction ont pu être récupérés pour les huit évaluations continues. Les temps de réaction sont alors calculés pour chaque type de séquence (voir Figure 14.5).

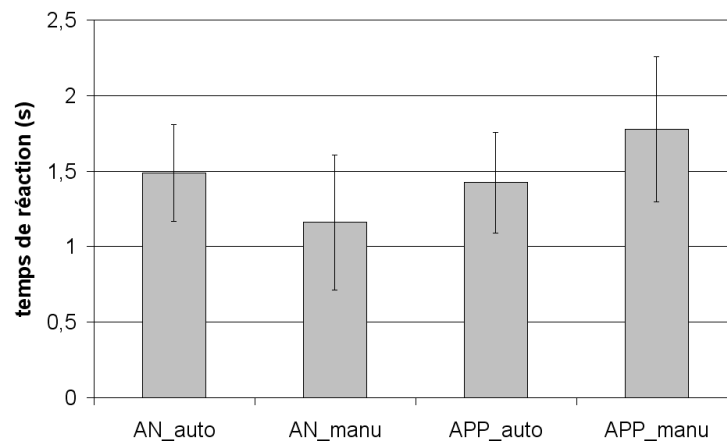


FIG. 14.5 – Temps de réaction moyen pour chaque type de séquence.

Une ANOVA (mesures répétées) permet de mettre en évidence l'influence du type d'accélération sur le temps de réaction ($F(1, 24) = 8.405; p < 0.01$) : le temps de réaction est plus long lors d'une accélération pied au plancher (1.6 s) que pour une accélération normale (1.3 s). L'influence entre le type de boîte et le type d'accélération est elle aussi statistiquement significative ($F(1, 24) = 6.87, p < 0.05$). Pour la boîte de vitesses automatique, la différence entre les deux types d'accélération n'est pas statistiquement significative ($p = 0.646$).

L'analyse des temps de réaction en fonction des caractéristiques socio-démographiques des auditeurs montre que le lieu d'habitation (zone urbaine, péri urbaine ou rurale), l'âge et le sexe n'ont pas d'influence statistiquement significative sur le temps de réaction.

Le temps de réaction moyen pour l'étude est de 1.46 s (intervalle de confiance à 95% de 0.35 s). Pour les évaluations de sonie [KN 85, NKF⁺ 04, SM 00], les temps de réaction estimés étaient de l'ordre de 1 s. La différence est probablement due à la durée des stimuli évalués : dans la présente étude, il s'agit de séquences sonores d'environ 25 s alors que les études sur la sonie portent sur des séquences de 5 à 20 min.

Réponses moyennes recentrées

Pour 270 des 288 réponses aux évaluations continues, un temps de réaction moyen sur la séquence a donc été récupéré. Les réponses individuelles sont alors recentrées et un nouveau calcul de réponse moyenne est effectué (voir Figure 14.6).

La corrélation entre niveau sonore en dB(A) et réponse moyenne est recalculée (voir Tableau 14.2). Le recentrage des réponses permet de confirmer le lien fort entre évaluation continue et niveau sonore. Toutefois, compte tenu du caractère de la séquence (bruit de passage d'un véhicule), il semblerait que les auditeurs répondent inconsciemment comme s'ils devaient suivre l'enveloppe temporelle de l'évènement alors que la tâche demandée est l'évaluation de la gêne.

Réponse moyenne	AN_auto	AN_manu	APP_auto	APP_manu
$L(A)$	0.965**	0.946**	0.961**	0.952**

TAB. 14.2 – Corrélation entre réponses moyennes recentrées et niveau de pression en dB(A) ($L(A)$).

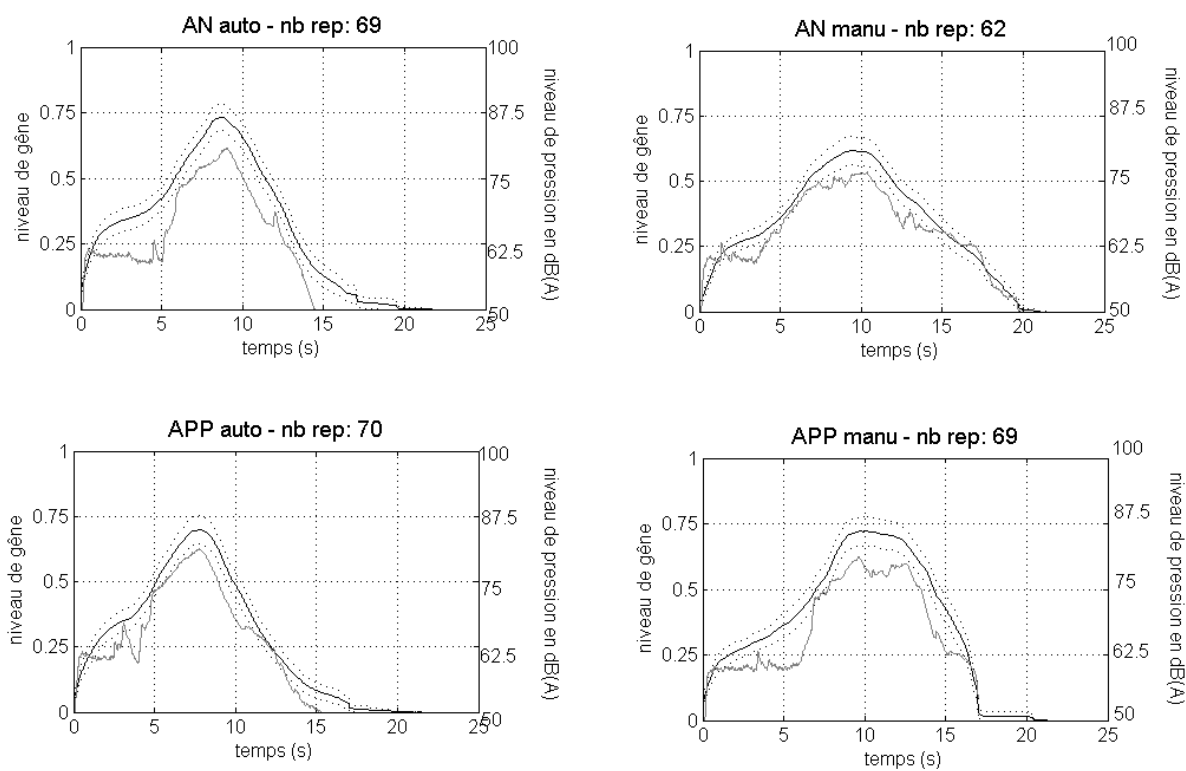


FIG. 14.6 – Réponses moyennes calculées à partir des courbes de réponse de type 1 et 2 recentrées en fonction des temps de réaction individuels (trait continu noir), intervalles de confiance à 95% (pointillés) et niveau de pression en dB(A) (trait continu gris). Pour chaque courbe, le nombre de réponses utilisées pour le calcul (nb rep) est précisé.

14.3 Comparaison de la gêne évaluée par les deux méthodes d'évaluation

Pour chaque séquence sonore évaluée, les scores de gêne obtenus lors de l'évaluation globale sont comparés au maximum et à la moyenne des profils de réponse à l'évaluation continue (voir Figure 14.7). De la même façon que précédemment, les notes globales sont plus importantes que les moyennes à l'évaluation continue. Comme dans l'étude de Susini et al. pour la sonie de sons non stationnaires [SMB 02], il apparaît que le score de gêne obtenu lors de l'évaluation globale est compris entre le maximum et la moyenne des jugements en continu.

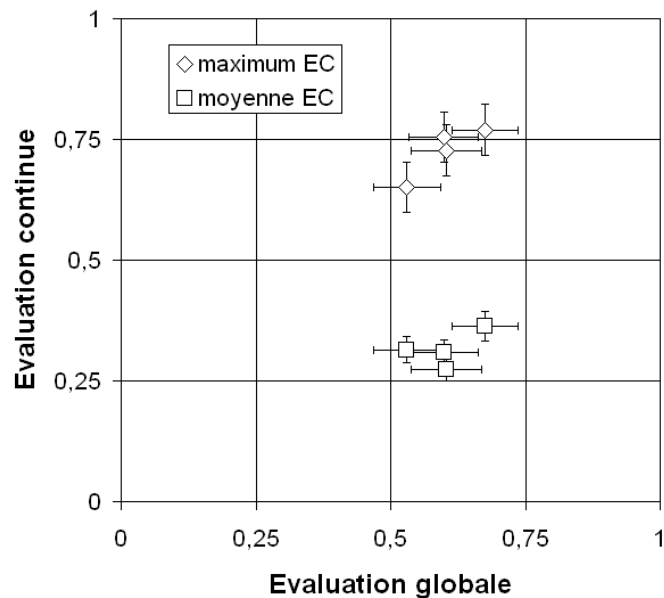


FIG. 14.7 – Comparaison des scores de gêne obtenus pour l'évaluation globale et pour l'évaluation continue : maximum et moyenne des réponses à l'évaluation continue sont calculés pour chaque séquence. Les deux échelles correspondent à l'échelle analogique catégorielle de l'étude, allant de 0 : "pas du tout gênant" à 1 : "extrêmement gênant".

Conclusion

Il est apparu que la boîte de vitesses automatique est perçue comme légèrement plus désagréable que la boîte manuelle. Cette différence, visible à la fois dans les jugements continus et globaux, a étonné les ingénieurs Renault Trucks : de leur point de vue, technique, la boîte de vitesses automatique avait une meilleure qualité perçue que la boîte manuelle.

La configuration optimale est celle combinant accélération normale et boîte de vitesses manuelle. Le choix technique de ce type de boîte pour le prototype *low noise* semble donc justifié. Cependant, la configuration jugée la plus gênante est obtenue avec cette même boîte manuelle lors de l'accélération pied au plancher. La gêne va donc dépendre du type d'accélération, c'est à dire du mode de conduite adopté par le chauffeur/livreur. Dans la réalité des livraisons urbaines, les démarrages ne correspondent pas toujours à la situation dite d'accélération normale. . . Une solution proposée par le comité de suivi de la thématique prioritaire "Aide à la décision des transports" de la Région Rhône-Alpes consisterait à mener une campagne de sensibilisation auprès des chauffeurs/livreurs.

Une solution technique alternative serait l'utilisation d'une boîte de vitesse automatique : en terme de gêne, elle fournit des résultats intermédiaires mais indépendants des conditions d'utilisation. La gêne perçue ne dépend pas du type d'accélération, du mode de conduite du chauffeur. La boîte de vitesse pourrait être réglée de façon à réduire encore plus la sensation de gêne. Il s'agirait donc d'un système actif de réduction du bruit, indépendant de la volonté du conducteur, similaire à celui envisagé par les ingénieurs Renault Trucks pour le moteur du véhicule *low noise* qui possède deux modes de fonctionnement suivant l'usage (urbain ou routier). Le système de réduction actif du bruit pourrait donc concerner l'ensemble du groupe moto-propulseur : moteur et boîte de vitesses.

Plus généralement, les réponses en terme de gêne montrent un lien fort avec le niveau sonore : le niveau du moteur est encore trop élevé pour qu'il soit utile de s'intéresser à d'autres descripteurs sonores caractérisant l'accélération du véhicule. L'effort doit donc porter sur la diminution du niveau sonore perçu.

Les niveaux de gêne obtenus lors de l'évaluation globale sont plus élevés que les moyennes des jugements globaux et plus faibles que leurs maxima. Ce résultat rejoint ceux des études sur la sonie pour lesquelles le même phénomène est observé. Moyenne et maximum de jugement continu ne permettant pas de prédire le jugement global, une expérience complémentaire a été menée pour identifier le lien entre les scores de gêne obtenus par l'évaluation globale et par l'évaluation continue.

Cinquième partie

Lien entre évaluation continue et jugement global

Introduction

Dans le but de mettre en évidence la relation entre évaluation continue et jugement global, une expérience complémentaire a été menée sur la séquence réelle de livraison réduite : dans un premier temps, les auditeurs devaient évaluer en continu la gêne de la séquence de livraison à l'aide du boîtier gradué de "pas du tout désagréable" à "extrêmement désagréable", puis donner une note globale à l'aide de cette même échelle. Dans un deuxième temps, pour huit extraits de la séquence de livraison, les sujets devaient fournir un jugement global de gêne. Scores de gêne globaux et continus ont ainsi pu être comparés.

Chapitre 15

Protocole

15.1 Stimuli

Pour cette étude, il a été choisi d'utiliser la même séquence sonore de livraison que précédemment, dans sa version réduite (voir Chapitre III, section 11.1, version "en extérieur") afin d'alléger la procédure de test et l'analyse des résultats. Cette séquence sonore dure environ 2 min 30. Le scénario détaillé est présenté à l'Annexe F.

De cette séquence ont été extraits huit séquences sonores courtes, correspondant à des événements sonores identifiés lors des précédents découpages en micro-séquences et des analyses des événements gênants. Le Tableau 15.1 présente la liste de ces extraits sonores (numérotés de 1 à 8), leur position dans la séquence de livraison réduite et leur durée. Pour chaque séquence, un fading de 0.2 s est réalisé en début et fin de séquence.

n° extrait	Début (s)	Durée (s)	Description
1	0.0	15	arrivée à 40 km/h + freinage et arrêt moteur
2	87.5	7.3	ouverture/fermeture de la porte chauffeur
3	29.0	14.5	descente du hayon
4	43.5	16.5	descente chariot du hayon + déplacement chariot à l'extérieur de la remorque + remontée du chariot sur hayon
5	60.0	14,5	montée du hayon
6	78.5	9	ouverture/fermeture de la porte passager
7	94.8	31,7	marche arrière et ralenti moteur
8	126.0	18,5	départ en accélération et éloignement

TAB. 15.1 – Huit extraits sonores issus de la séquence sonore de livraison réduite. Durées en secondes.

Tous les fichiers sons utilisés sont des fichiers au format wave, signed 16 bit, stéréo, échantillonnés à 22050 Hz.

15.2 Procédure expérimentale

15.2.1 Attribut à évaluer

L'étude se déroule en laboratoire mais la consigne donnée aux auditeurs comporte une mise en situation : "Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle (camion de livraison qui arrive au petit matin à côté de chez vous)". C'est donc la gêne qui va être évaluée.

15.2.2 Protocole du test perceptif

Afin de se familiariser à la fois avec le contenu de la séquence sonore et la méthode d'évaluation, l'auditeur effectue d'abord deux évaluations continues de la séquence sonore de livraison (notées *EC1_ch5* et *EC2_ch5*). Le sujet dispose du même dispositif d'évaluation que celui utilisé lors des précédentes études : un curseur coulissant le long d'une échelle analogique catégorielle divisée en cinq catégories (labels allant de "pas du tout gênant" à "extrêmement gênant"). La tâche de l'auditeur consiste à ajuster la position du curseur de manière à ce que sa sensation de gêne puisse être représentée sur l'échelle sémantique. De façon simultanée, la séquence sonore est jouée au casque.

A la fin de la seconde évaluation continue *EC2_ch5*, il est demandé à l'auditeur de donner une note globale de gêne, notée *seq_glob*. Pour cela, il ajuste la position du curseur de manière à ce que la note donnée soit représentée sur l'échelle graduée du boîtier. Dans une seconde session de test consécutive à la première, le sujet doit évaluer la gêne globale des huit extraits sonores, présentés dans un ordre aléatoire, à l'aide du même dispositif. Chacune des huit notes de gêne globale obtenue est notée *glob(i)*, *i* correspondant au numéro de l'extrait sonore concerné.

Les séquences sonores sont jouées au casque (écoute dichotique). La consigne fournie aux auditeurs est présentée Annexe H. La durée moyenne du test est de 13 min.

15.2.3 Auditeurs

Le jury est composé de 16 étudiants et membres du laboratoire (2 femmes et 14 hommes), âgés de 21 à 51 ans (moyenne : 30.5 ans). Les sujets ont déclaré ne pas avoir de problèmes d'audition. Dix d'entre eux vivent en milieu urbain. Seulement trois d'entre eux ont déclaré n'avoir jamais participé à des tests perceptifs. La majorité du jury est donc composée d'auditeurs expérimentés.

Chapitre 16

Résultats

16.1 Analyse des résultats de l'évaluation continue

16.1.1 Faisabilité de la tâche

Le coefficient de corrélation entre les réponses à la première et à la seconde évaluation continue (notées respectivement *EC1_ch5* et *EC2_ch5*) est calculé pour chaque auditeur. La Figure 16.1 présente la répartition des coefficients de corrélation.

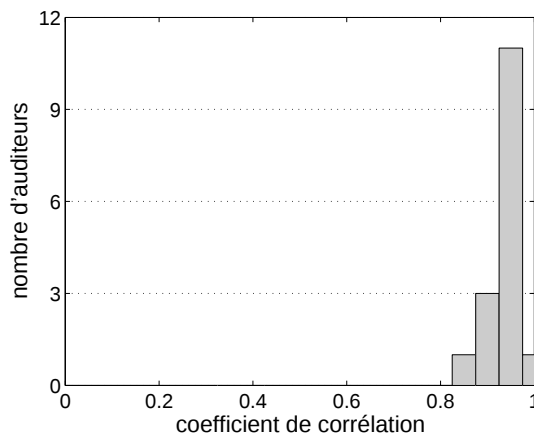


FIG. 16.1 – Répartition des coefficients de corrélation pour les réponses à l'évaluation continue de la séquence de livraison réduite.

Comparativement aux deux précédentes études de la séquence de livraison (voir Figures 10.1 et 12.2), les corrélations entre les réponses à l'évaluation continue sont très bonnes (moyenne de 0.94 avec un écart type de 0.02). Les auditeurs ont donc produit des réponses très similaires entre les deux évaluations. Cette répétabilité peut être due à la composition du jury, majoritairement constitué d'auditeurs expérimentés.

16.1.2 Calcul de la réponse moyenne

De la même façon que précédemment, seules les réponses à la seconde évaluation continue sont utilisées pour l'analyse des principaux événements sonores gênants. La courbe de réponse moyenne *EC2_ch5* est calculée à partir des profils de réponses individuels. Lors des précédentes études, il est apparu qu'une simple moyenne arithmétique sans recentrage préalable permettait une identification correcte des principaux événements sonores gênants de la séquence de livraison. Sur la Figure 16.2, la courbe moyenne de gêne est

représentée.

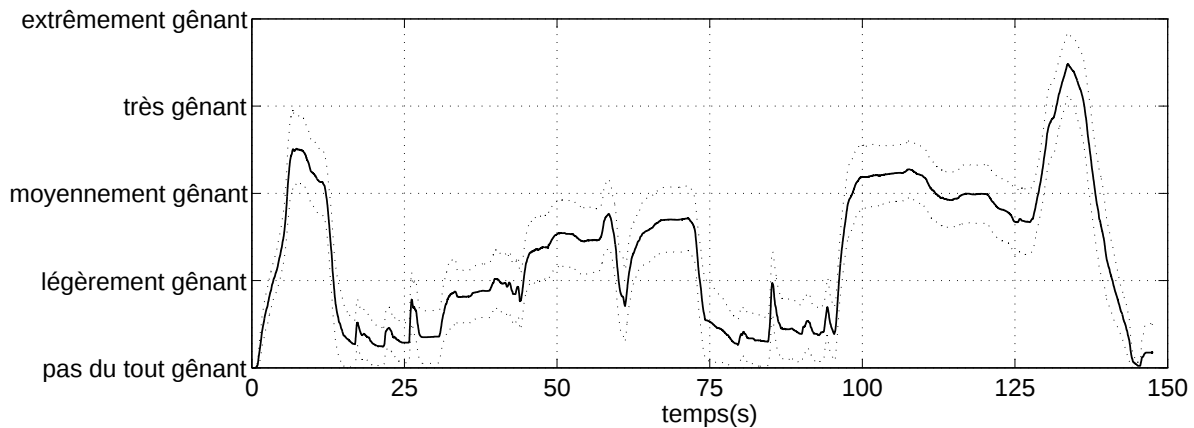


FIG. 16.2 – Moyenne arithmétique des réponses individuelles à la seconde évaluation continue (*EC2_ch5* en trait continu) et intervalle de confiance à 95% (pointillés).

Les mêmes évènements gênants que ceux repérés lors des précédentes études (Parties II et III) sont à nouveau identifiables :

- départ en accélération du camion (130 s),
- ralenti moteur et marche arrière (de 100 à 125 s),
- arrivée du camion + freinage (de 0 à 10 s),
- choc du transpalette remontant sur le hayon (59 s),
- remontée du hayon (de 62 à 76 s)
- manipulation du transpalette à l'extérieur (44 s à 58 s).

A la différences des études précédentes, certains évènements sont identifiables de façon plus distincte : manipulation des portes en début et fin de séquence (entre 16 et 27 s puis entre 90 et 97 s), descente du hayon (respectivement de 30 à 45 s), manipulation du transpalette à l'extérieur (de 43 à 60 s).

16.1.3 Comparaison des trois études sur la séquence de livraison

Ces premiers résultats présentent des différences avec ceux obtenus lors des précédentes évaluations continues de la séquence de livraison : meilleure répétabilité de la réponse d'une part et détection d'évènements sonores supplémentaires sur la réponse moyenne à l'évaluation continue d'autre part. On se propose donc d'effectuer une comparaison plus précise des résultats des trois études suivantes :

- Partie II, sur l'évaluation continue de la séquence sonore de livraison dans son intégralité (5 min 20) : *EC1* et *EC2*,
- Partie III, sur la séquence sonore réduite en extérieur (2 min 30) : *Ext1* et *Ext2*,
- Partie V, la présente étude sur la comparaison des méthodes d'évaluation continue et de jugement global, sur la séquence de livraison réduite (2 min 30) : *EC1_ch5* et *EC2_ch5*.

Sur la Figure 16.3 sont représentées les courbes moyennes obtenues lors de l'évaluation continue de la séquence sonore de livraison réduite en extérieur (*Ext1* et *Ext2* de la Partie III, en gris) et lors de la présente étude (*EC1_ch5* et *EC2_ch5*, en noir). Celles de la Partie II portent sur la séquence complète et ne sont donc pas directement comparables.

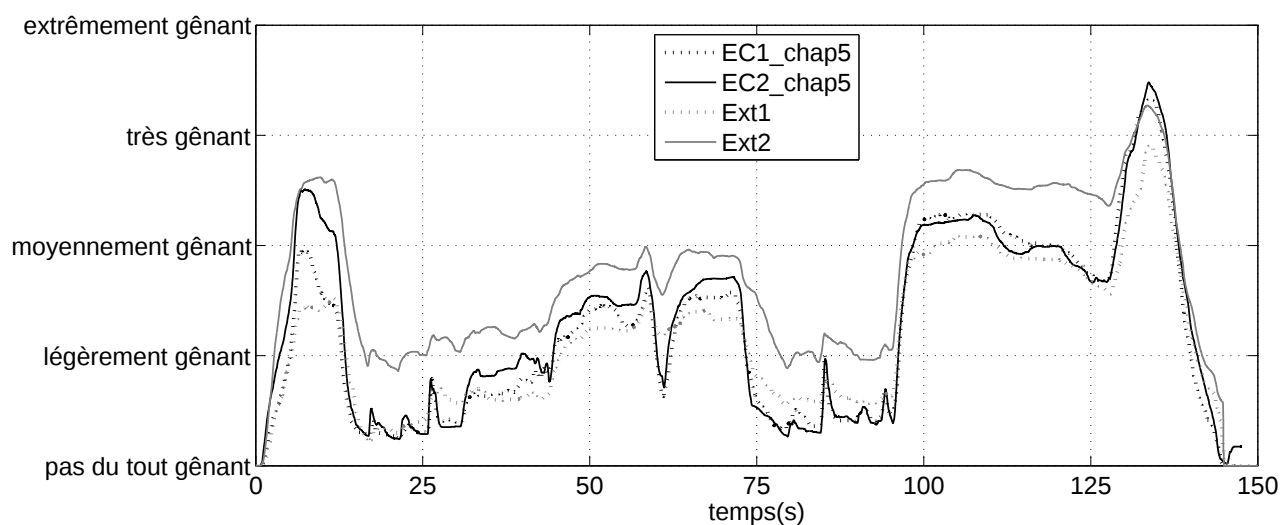


FIG. 16.3 – Réponses moyennes aux évaluations continues de la séquence sonore de livraison réduite : en noir, les réponses moyennes obtenues pour la présente étude (Partie V), en gris, les réponses obtenues pour l'étude des séquences de livraison en extérieur (Partie III). Les courbes en pointillés correspondent aux réponses à la première évaluation continue et celles en trait plein, aux réponses à la seconde évaluation.

Dans les deux études, certaines similitudes sont observées : l'allure générale des évaluations (1ère et 2ème) sont très similaires et la réponse moyenne à la seconde évaluation de la séquence sonore est toujours plus importante que celle à la première. Cette dernière différence reste nettement moins marquée pour les courbes de la Partie V. Ce peut être dû au protocole de l'expérience : lors de l'évaluation des séquences en intérieur et en extérieur (Partie III), les deux évaluations continues *Ext1* et *Ext2* sont séparées par une évaluation intermédiaire. Dans la présente étude, les deux évaluations continues sont réalisées consécutivement. L'absence d'une tâche intercalée entre les deux évaluations continues peut expliquer la faible différence entre les deux évaluations de la présente étude, différence plus faible que celle obtenue entre *Ext1* et *Ext2*. Une autre hypothèse concerne le nombre d'évaluations durant l'expérience : *Ext2* constitue la 3ème ou 4ème évaluation continue (en fonction du groupe d'auditeurs, voir section 11.2.2), alors qu'*EC2_ch5* n'est que la seconde évaluation continue de l'expérience. Le nombre total d'évaluations au cours de l'expérience pourrait donc influencer la réponse à la dernière évaluation (pour les séquences d'un certain niveau sonore puisqu'il apparaît qu'il n'y a pas de différence significative entre *Int1* et *Int2*). Cette différence peut aussi être due à la composition du jury : seuls des auditeurs naïfs, i.e. des sujets n'ayant jamais participé à des tests perceptifs, ont participé à l'étude sur l'évaluation des séquences en intérieur et en extérieur, alors que le jury de la présente étude était composé d'auditeurs expérimentés ayant, pour la plupart, participé à la première étude sur la séquence sonore de livraison (Partie II). Ces derniers connaissent donc à la fois le contenu de la séquence sonore et le principe de la méthode d'évaluation utilisée (même si dix-huit mois séparent les deux expériences).

Les réponses moyennes à la présente étude permettent d'identifier des événements sonores qui étaient moins aisément détectables sur les réponses des précédentes études (ouvertures/fermetures de portes en début et fin de séquences ou montée du hayon, par exemple). Cette meilleure "précision" peut s'expliquer par les façons de répondre en continu proposées par Weber (voir section 3.3.3) : dans la présente étude, aucun auditeur n'a répondu par intégration, tous semblent avoir cherché à convertir le plus rapidement possible leur impression de gêne en un mouvement du curseur pour exprimer leur jugement. Or le jury de l'étude est principalement composé d'auditeurs expérimentés. Dans l'étude sur la séquence entière (Partie II) et celle sur la séquence en extérieur (Partie III), le nombre de réponses par intégration est plus important pour des jurys respectivement

mixte et composé uniquement de naïfs. Le Tableau 16.1 présente, pour les trois études, le taux de naïfs et le nombre de réponses obtenues par intégration.

Étude	Taux de réponses par intégration	Taux d'auditeurs "naïfs" dans le jury
Partie II	22%	66%
Partie III	66%	100%
Partie V	0%	18%

TAB. 16.1 – Taux de réponses par intégration et composition des jurys des trois expériences d'évaluation continue de la séquence de livraison.

Il semble donc que la façon de répondre (par intégration ou non) soit liée à l'apprentissage : plus les auditeurs vont être familiers de la méthode d'évaluation, plus ils auront tendance à répondre en cherchant à suivre l'évolution de leur sensation.

16.2 Analyse des réponses aux huit extraits sonores

16.2.1 Évaluation continue

Pour chaque extrait sonore, la réponse à l'évaluation continue de la portion de séquence de livraison concernée est récupérée : le maximum d'amplitude correspondant est relevé sur la réponse à la seconde évaluation continue *EC2_ch5*. Une moyenne arithmétique des maxima individuels est alors effectuée. Cette valeur est considérée comme étant le score de gêne issu de la méthode d'évaluation continue pour l'extrait considéré. On la note $cont(i)$ avec $i = [1 : 8]$, numéro de l'extrait sonore.

La Figure 16.4 présente les scores de gêne obtenus pour chacun des huit extraits sonores. La source sonore prépondérante de gêne reste le moteur, suivi du transpalette et du hayon. Cette classification des événements sonores en fonction de la gêne est comparable à celles des précédentes études.

Le Tableau 16.2 illustre ce résultat : le classement des MS de la Partie II en fonction du désagrément (voir Tableau 10.3) peut être comparé au classement des extraits sonores par gêne obtenus dans la présente étude. La même hiérarchie est bien retrouvée : le moteur reste la source de gêne prépondérante (phase d'accélération principalement), viennent ensuite les manipulations du transpalette et du hayon. Les classifications obtenues Partie III restent elles aussi comparables. Ceci confirme la stabilité des résultats de la méthode d'évaluation continue de la gêne ainsi que sa répétabilité.

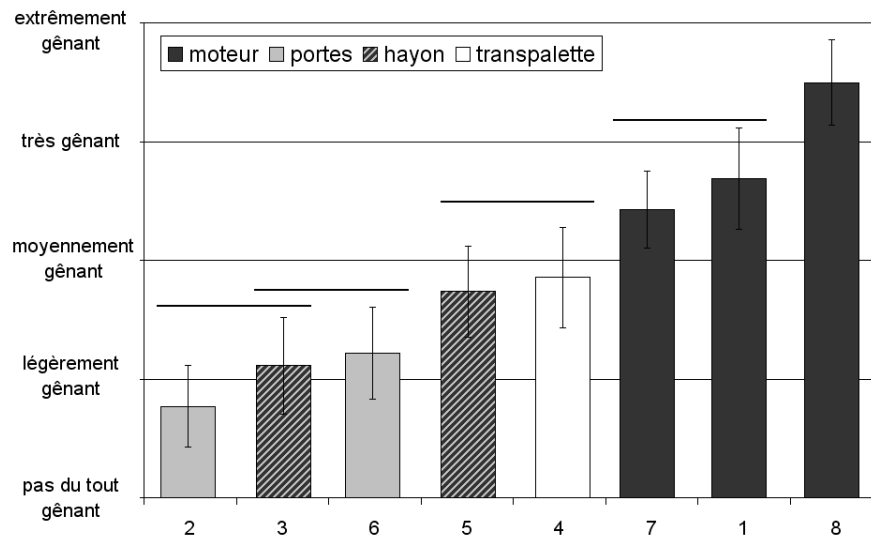


FIG. 16.4 – Classements des huit extraits de la séquence sonore en fonction des scores de gêne issus des évaluations continues ($cont(i), i = [1 : 8]$), et intervalles de confiance à 95%. Les segments horizontaux relient les événements pour lesquels les différences ne sont pas statistiquement significatives ($p \geq 0.05$).

n° MS Partie II	n° extrait Partie V	Évènement sonore	rang <i>EC2</i>	rang <i>EC2_ch5</i>
27	8	départ en accélération	1	1
1	1	arrivée camion	3	2
26	7	marche arrière, ralenti moteur	4	3
14	4	manipulation transpalette à l'extérieur	11	4
15/10	5	remontée du hayon	13/14	5
23	6	fermeture porte passager	18	6
18/28/13	3	descente du hayon	19/20/21	7
24	2	ouverture/fermeture porte chauffeur	25	8

TAB. 16.2 – Comparaison des classifications d'évènements sonores en fonction du désagrément et de la gêne évalués respectivement Partie II et Partie V.

16.2.2 Jugement global

La Figure 16.5 présente les scores globaux obtenus pour chaque extrait (notés $glob(i)$, avec $i = [1 : 8]$, numéro de l'extrait sonore), calculés à partir des jugements globaux individuels de gêne. La source principale de gêne reste le bruit du moteur (extrait 8, accélération finale ; extrait 1, arrivée du camion sur la zone de livraison ; extrait 7, marche arrière et ralenti moteur), puis la manipulation du transpalette à l'extérieur (extrait 4), la montée du hayon (extrait 5) et enfin la descente du hayon (extrait 3) et les manipulation des portes chauffeur et passager (respectivement extrait 2 et 6).

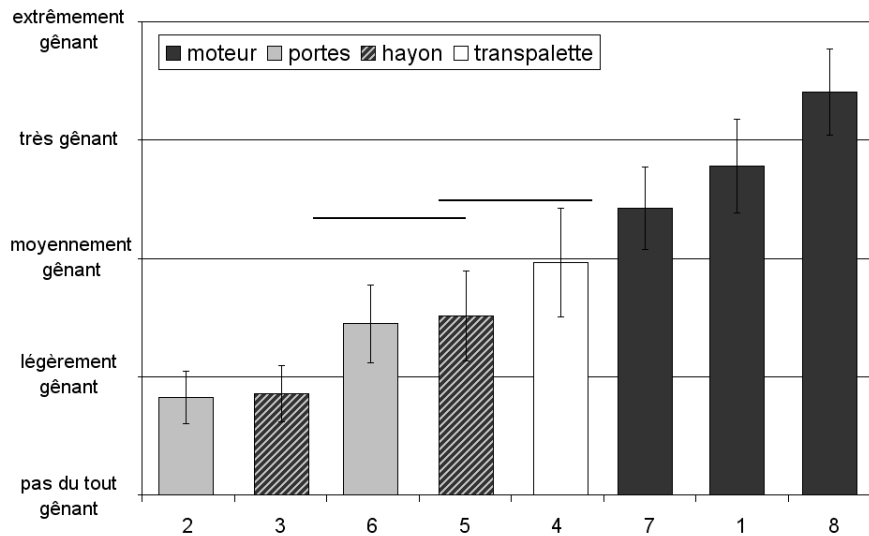


FIG. 16.5 – Classements des huit extraits de la séquence sonore en fonction de la gêne exprimée lors des jugements globaux ($glob(i), i = [1 : 8]$) et intervalles de confiance à 95%. Les segments horizontaux relient les événements pour lesquels les différences de gêne ne sont pas statistiquement significatives ($p \geq 0.05$).

Cette classification est identique à celle obtenue avec l'évaluation continue (Figure 16.4) : l'analyse statistique des données montre que les différences entre notes continues et globales pour les huit extraits sonores ne sont pas statistiquement significatives.

16.3 Comparaison de la gêne évaluée par les méthodes d'évaluation continue et de jugement global

Des classifications comparables sont donc obtenues par les deux méthodes d'évaluation et il n'apparaît pas de différence statistiquement significative entre notes globales et continues pour chaque extrait sonore. Sur la Figure 16.6, le score obtenu à l'évaluation continue ($cont(i), i = [1 : 8]$) est représenté, pour chacun des huit extraits sonores évalués, en fonction du score global ($glob(i), i = [1 : 8]$) (cercles vides). Pour un événement sonore donné, la valeur maximale de l'évaluation continue fournit donc une bonne estimation du jugement global.

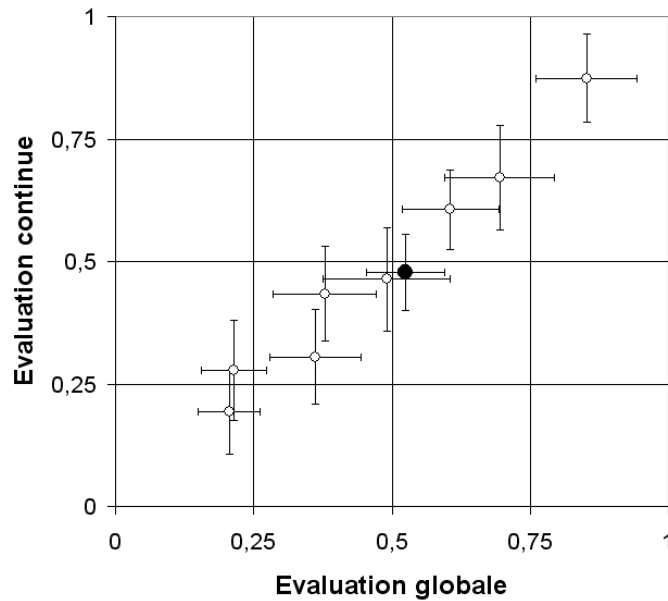


FIG. 16.6 – Comparaison des scores de gêne obtenus pour le jugement global et pour l'évaluation continue des huit extraits sonores (cercles vides). Le cercle plein représente la moyenne arithmétique des scores à l'évaluation continue $moy(cont(i))$ en fonction du jugement global moyen seq_glob . Les deux échelles correspondent à l'échelle analogique catégorielle allant de 0 : *pas du tout gênant* à 1 : *extrêmement gênant*.

Le jugement global de la séquence, seq_glob , est obtenu en faisant la moyenne arithmétique des jugements globaux individuels de la séquence de livraison. Il est proche du label "moyennement gênant" (52% de l'échelle d'évaluation). Afin de mettre en évidence le lien entre jugement global et évaluation continue, d'autres valeurs sont calculées :

- $moy(glob(i))$ est la moyenne arithmétique des jugements globaux des huit extraits sonores (47% de l'échelle),
- $moy(cont(i))$ est la moyenne arithmétique des réponses à l'évaluation continue des huit extraits sonores (47% de l'échelle),
- $moy(EC2_ch5)$ est la moyenne arithmétique des réponses individuelles à l'évaluation continue de la séquence sonore (32% de l'échelle).

Ces quatre valeurs ainsi que les différences non statistiquement significatives sont représentées sur la Figure 16.7.

D'abord, on retrouve le fait que les moyennes des scores globaux et continus ne présentent pas de différence statistiquement significative, de la même façon, qu'il n'y en avait pas entre scores globaux et continus pour chaque extrait sonore.

Ensuite, la différence entre jugement global seq_glob et moyenne à l'évaluation continue totale de la séquence sonore $moy(EC2_ch5)$ est statistiquement significative. Il s'agit du même phénomène que précédemment (12.3 et 14.3) : la moyenne des réponses à l'évaluation continue est inférieure au jugement global et ne permet pas de fournir une estimation de ce dernier. Ce résultat est similaire à celui observé lors d'évaluations de sonie [KN 85, KNH 97, KKKN 97, FAS 91].

Cependant, la différence entre jugement global seq_glob et moyenne arithmétique des jugements globaux des huit extraits $moy(glob(i))$ n'est pas statistiquement significative : la note globale de gêne peut donc être obtenue à partir des jugements globaux de gêne des événements composant la séquence sonore. Ce résultat est

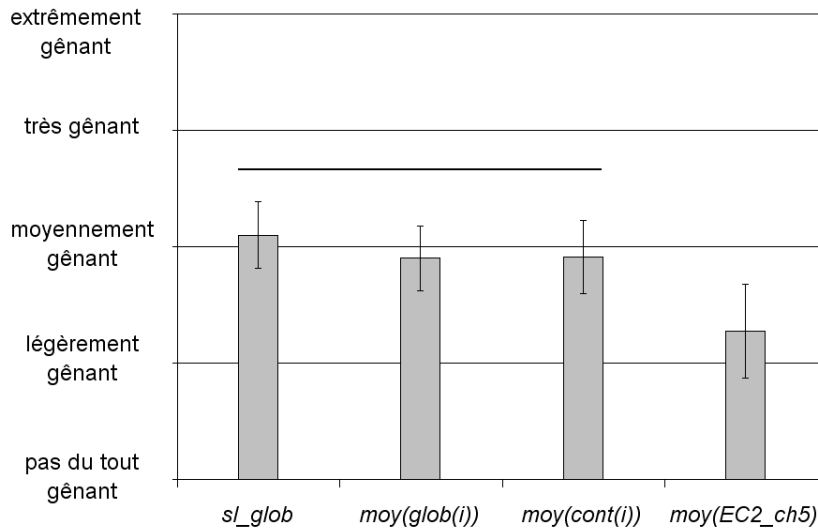


FIG. 16.7 – Jugement global de la séquence de livraison *seq_glob*, moyenne arithmétique des réponses à l'évaluation continue des huit extraits sonore *moy(cont(i))* et moyenne arithmétique des réponses individuelles à l'évaluation continue de la séquence sonore *moy(EC2_ch5)*, et intervalles de confiance à 95%. Le segment horizontal relie les valeurs pour lesquelles la différence n'est pas statistiquement significative ($p \geq 0.05$).

comparable aux conclusions de Hellbrück et al [HKZ⁺ 01] sur la relation entre évaluation continue et jugement global de sonie : lorsque le jugement global est donné juste après l'écoute, il correspond à la moyenne des jugements globaux des différents événements sonores de la séquence, évalués séparément.

De même, la différence entre la moyenne arithmétique des scores des extraits lors de l'évaluation continue *moy(cont(i))* et le jugement global moyen *seq_glob*, n'est pas statistiquement significative ($p > 0.1$). Sur la Figure 16.6, le cercle plein représente la moyenne arithmétique des scores à l'évaluation continue *moy(cont(i))* en fonction du jugement global moyen *seq_glob* : la valeur du jugement global de gêne d'une séquence sonore peut être obtenue en relevant les maxima d'amplitude locaux des réponses à l'évaluation continue des principaux événements sonores composant cette séquence. La stratégie de jugement global de la gêne serait donc principalement basée sur une moyenne des maxima de gêne des différents événements composant la séquence. Cette hypothèse est comparable à celle proposée par Kuwano et Namba [KN 85] et Fastl [FAS 91], selon laquelle la sonie globale perçue est déterminée par les événements les plus forts. De même, la gêne globale semble déterminée par la gêne des principaux événements de la séquence.

Conclusion

Cette étude complémentaire a d'abord permis de mettre en évidence la possible influence de l'apprentissage sur les résultats à l'évaluation continue : les auditeurs expérimentés, i.e. ayant déjà participé à des expériences d'évaluation continue, donnent des réponses plus répétables et plus précises que celles fournies par des auditeurs dits "naïfs". La façon de répondre "par intégration" semble liée à la composition du jury. La répétition de la tâche d'évaluation continue effectuée deux fois de suite lors de l'évaluation d'une séquence sonore permet de familiariser le sujet à la fois avec le contenu de la séquence sonore et avec la méthode d'évaluation et d'avoir ainsi des réponses fiables. Toutefois elle ne constitue pas pour autant une phase d'apprentissage suffisante pour que le sujet soit considéré comme expérimenté.

Il pourrait être intéressant de rappeler les auditeurs ayant participé à l'évaluation continue de la séquence sonore synthétique (Partie I) et de leur faire repasser le test à l'identique : l'influence de la signification des sons sur la réponse à l'évaluation continue pourrait être dissociée de l'effet de l'apprentissage de l'utilisation de la méthode.

D'autre part, de la même façon que lors des études d'évaluation de la sonie, il est apparu que la note de gêne globale d'une longue séquence sonore ne peut être estimée par la simple moyenne arithmétique de la réponse à l'évaluation continue. La comparaison des scores des jugements globaux et en continu des principaux événements sonores de la séquence a permis de mettre en évidence le lien entre gêne globale et scores locaux à l'évaluation continue : la note de gêne globale correspond à la moyenne des maxima locaux de gêne à l'évaluation continue relevés pour chaque événement sonore principal de la séquence.

Conclusion et Perspectives

L'objectif de cette étude était double : il s'agissait, d'une part, d'apprécier l'utilisation de la méthode d'évaluation continue analogique catégorielle appliquée au désagrément, et, d'autre part, d'identifier les causes principales de désagrément dans le cas réel de l'utilisation d'un véhicule de livraison.

La validation de la méthode a été réalisée en deux étapes lors desquelles la technique d'évaluation continue a été confrontée à deux méthodes de test, issues de domaines différents : l'analyse du *test de comparaison par paires*, outil classique de la psychophysique, a permis de confirmer la validité de la méthode d'évaluation continue comme méthode d'évaluation du désagrément, malgré l'influence non négligeable de l'enveloppe temporelle, notamment de la durée du temps de montée de l'évènement sonore. Dans le cas de l'enregistrement du camion en livraison, le recueil et l'analyse des *verbalisations libres*, méthode issue du domaine de la psychologie cognitive, a permis de valider l'identification et la classification des évènements gênants fournis par l'évaluation continue.

Par ailleurs, la comparaison des résultats des différentes évaluations continues de la séquence de livraison a mis en évidence la stabilité de la méthode : l'identification et la hiérarchisation des sources de gêne sont, à chaque fois, comparables et ne dépendent pas de la composition du jury (auditeurs expérimentés ou naïfs). La qualité des réponses (réponse par intégration ou non) semble toutefois conditionnée par le niveau d'expérience des sujets (les auditeurs expérimentés donnent des réponses plus répétables et plus précises que celles fournies par des auditeurs dits "naïfs"), ainsi que par les tâches additionnelles à effectuer.

La confrontation des résultats des évaluations continue et globale de la séquence de livraison montre que, de la même façon que pour les études d'évaluation de la sonie, la note de gêne globale d'une longue séquence sonore ne peut être simplement estimée par le maximum ou la moyenne de la réponse à l'évaluation continue. Cette étude a permis de mettre en évidence que le jugement global de gêne d'une longue séquence sonore correspond à la moyenne des estimations de chacun des évènements : le jugement global des auditeurs se baserait donc sur la prise en compte des principaux évènements sonores de la séquence.

Tous ces éléments ont donc non seulement permis de valider la pertinence de la méthode d'évaluation continue analogique catégorielle pour l'évaluation du désagrément de longues séquences sonores, mais aussi de compléter les connaissances dans ce domaine d'application. D'autres expériences seraient à mener afin d'estimer plus précisément l'influence de l'enveloppe temporelle, de la durée de l'évènement sonore sur la réponse à l'évaluation continue des auditeurs afin de mettre au point un dispositif de correction de la réponse pour une prise en compte de cette influence. Certaines pistes comme la classification hiérarchique des réponses des auditeurs, l'analyse en série temporelle ou encore la caractérisation des évènements sonores par courbes squelettes restent à approfondir. D'autres investigations pourraient être menées afin d'étudier l'influence du nombre d'écoutes et d'évaluations sur le type de réponse des auditeurs naïfs et expérimentés. En ce qui concerne les verbalisations libres, la classification des sources de gêne est similaire à celle obtenue par l'analyse de l'évaluation continue. Toutefois, pour certains évènements sonores, comme la marche arrière, des différences sont apparues. Une future étude pourrait être menée afin d'identifier plus précisément ces différences, probablement liées à la technique de test.

Les sources de bruits les plus gênantes lors de l'utilisation du véhicule de livraison ont bien été identifiées : il s'agit d'abord du moteur (principalement lors de la phase d'accélération). Malgré les efforts déjà mis en oeuvre par Renault Trucks, il est jugé toujours trop fort. La gêne liée aux autres sources (éléments de la remorque, transpalette...) a pu être caractérisée qualitativement grâce aux portraits verbaux issus de l'analyse des verbalisations libres. Cependant ces organes ne sont pas développés directement par le constructeur. L'amélioration du bruit global passera donc par un travail auprès des carrossiers et de leurs sous-traitants, ce qui peut

poser des difficultés en raison de la taille beaucoup plus réduite des entreprises concernées.

L'effort du constructeur doit donc porter prioritairement sur la réduction du niveau sonore global, action actuellement menée par l'équipe Volvo 3P Exterior Noise sur le véhicule prototype. Par rapport au projet LUT dans sa globalité, la thèse a mis en évidence l'importance des questions d'ergonomie. L'amélioration de la perception du bruit du camion pourrait passer par le contrôle de l'accélération avec l'utilisation d'une boîte de vitesse automatique qui, quelle que soit le mode de conduite adopté par le chauffeur/livreur, permettrait de stabiliser la sensation de gêne. Sur le même principe de soucis ergonomique, un système empêchant les fausses manoeuvres lors de la manipulation du hayon pourrait être mis en place afin d'éviter les chocs (lors de mauvaises manipulations en début ou en fin de course du hayon), sources de désagrément.

Bibliographie

- [Ame 98] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS . Standard guide for time-intensity evaluation of sensory attributes. *Standards E1909, ASTM : West Conshohocken, PA*, 1998.
- [Ame 05] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. *American National Standard Procedure for the Computation of Loudness of Steady Sound, ANSI S3.4-2005*, 2005. Disponible sur [http ://www.ansi.org/](http://www.ansi.org/) consulté le 18/10/2006.
- [AR 71] AUZOU et RAPIN . *Le bruit en milieu urbain*. Rapport technique, Paris, France : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 1971. Contrat 70-050.
- [AS 68] ATKINSON R.C et SHIFFRIN R.M. Human memory : a proposal system and its control processes. **In** : Spence,K. ed. *The psychology of learning and motivation : advances in research and theory*, New York : Academic press, p 89-195, 1968.
- [AUR 85a] AURES W. Berechnungsverfahren für den sensorischen wohlklang beliebiger schallsignale. *Acustica*, 1985, vol 59, p 130–141.
- [AUR 85b] AURES W. Der sensorische wohlklang als funktion psychoakustischer empfindungsgrößen. *Acustica*, 1985, vol 58, p 282–290.
- [AUR 85c] AURES W. Ein berechnungsverfahren der rauhigkeit. *Acustica*, 1985, vol 58, p 268–281.
- [BB 00] B. BERGLUND T. LINDVALLD.H. SCHWELA ET K.-T. GOH. *Guidelines for community noise*. Rapport technique, World Health Organisation, Geneva, 2000.
- [BBL 75] BERGLUND B., BERGLUND U. et LINDVALL T. Scaling loudness, noisiness, and annoyance of aircraft noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1975, vol 57, n°4, p 930–934.
- [BBL 76] BERGLUND B., BERGLUND U. et LINDVALL T. Scaling loudness, noisiness, and annoyance of community noises. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1976, vol 60, p 1119–1125.
- [BH 96] BERGLUND B. et HASSMEN P. R.f.s. job : Sources and effects of low-frequency noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1996, vol 99, p 2985–3002.
- [BOD 99] BODDEN M. Psychoacoustics and industry : instrumentation versus experience ? *Acta Acustica*, 1999, vol 85, p 604–607.
- [BON 86] BONNET C. *Manuel pratique de psychophysique*. PARIS : Armand Colin, 1986, 254 p.
- [BOS 88] BOSSHARDT H.G. Subjektive realität und konzeptuelles wissen. **In** : Sprachpsychologische Untersuchungen zum Begriff der Belästigung durch Lärm, Münster, Germany, 1988.
- [BOU 04] BOULLET I. Comparison between four methods of loudness estimation of stationary and non-stationary sounds. **In** : 7ème Congrès Français d'Acoustique (CFA) et 30ème Congrès de la Société Allemande d'Acoustique (DAGA), Strasbourg, France, mars 2004.
- [BP 96] BRAMBILLA G. et PEDRIELLI F. Community reactions to noise and vibrations from railway traffic. **In** : InterNoise, volume 5, Liverpool, England, 1996.

- [BRÜ 99] BRÜEL P. Short noise peaks in industry. *In* : ICSV6, volume 3, Copenhagen, Denmark, 1999.
- [BS 95] BRITTIN R. et SHELDON D. Comparing continuous versus static measurements in music listener's preferences. *Journal of Research in Music Education*, 1995, vol 43, p 36–46.
- [BT 52] BRADLEY R.A. et TERRY M.E. Rank analysis of incomplete block designs, i. the method of paired comparisons. *Biometrika*, 1952, vol 39, p 324–345.
- [Com 05a] COMITÉ DES CONSTRUCTEURS FRANÇAIS D'AUTOMOBILES. *Analyse et Statistiques - L'industrie automobile française*. Rapport technique, Comité des Constructeurs Français d'Automobiles, Paris, 2005. Disponible sur <http://www.ccfa.fr>, consulté le 18/10/2006.
- [Com 05b] COMITÉ DES CONSTRUCTEURS FRANÇAIS D'AUTOMOBILES. *Livraisons et services urbains, Dossier du CCFA*. Rapport technique, Comité des Constructeurs Français d'Automobiles, Paris, 2005. Disponible sur <http://www.ccfa.fr>, consulté le 18/10/2006.
- [Con 70] CONSEIL EUROPÉEN. Directive européenne 70/157/CEE du 6 février 1970 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives au niveau sonore admissible et au dispositif d'échappement des véhicules à moteur. *Journal officiel des Communautés Européennes*, du 23 février 1970, p 16. Disponible sur <http://www.legifrance.gouv.fr/> (consulté le 14 février 2006).
- [Con 92] CONSEIL EUROPÉEN. Directive européenne 92/97/CEE du 10 novembre 1992 modifiant la directive 70/157/cee concernant le rapprochement des législations des États membres relatives au niveau sonore admissible et au dispositif d'échappement des véhicules à moteur. *Journal officiel des Communautés Européennes*, du 19 décembre 1992, p 1. Disponible sur <http://www.legifrance.gouv.fr/> (consulté le 14 février 2006).
- [CS 90] CANEVET G. et SCHARF B. The loudness of sounds that increase and decrease continuously in level. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1990, vol 88, n°5, p 2136–2142.
- [CTT 03] CANEVET G., TEGHTSOONIAN R. et TEGHSOONIAN M. A comparison of loudness change in signals that continuously rise or fall in amplitude. *Acta Acustica united with Acustica*, 2003, vol 89, p 339–345.
- [DAV 88] DAVID H.A. *The method of paired comparison*. New York : Oxford University Press, 1988.
- [DBF 97] DUIZER L.M., BLOOM K. et FINDLAY C.J. Dual-attribute time-intensity sensory evaluation : a new method for temporal measurement of sensory perception. *Food Quality and Preference*, 1997, vol 8, n°4, p 261–269.
- [DP 01] DIJKSTERHUIS G.B et PIGGOTT J.R. Dynamic methods of sensory analysis. *Food Science and Technology*, 2001, vol 11, p 284–290.
- [DW 94] DANIEL P. et WEBER R. Evaluation and measurement of roughness of artificial and technical sounds. *In* : Inter-Noise, Yokohama, Japan, 1994.
- [DW 97] DANIEL P. et WEBER R. Psychoacoustical roughness : implementation of an optimized model. *Acta Acustica united with Acustica*, 1997, vol 83, n°1, p 113–123.
- [EEZ 01] ELLERMEIER W., EIGENSTETTER M. et ZIMMER K. Psychoacoustic correlates of individual noise sensitivity. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2001, vol 109, n°4, p 1464–1473.
- [EMD 04] ELLERMEIER W., MADER M. et DANIEL P. Scaling the unpleasantness of sounds according to the btl model : Ratio-scale representation and psychoacoustical analysis. *Acta Acustica united with Acustica*, 2004, vol 90, p 1001–107.
- [Eur 97] EUROPEAN COMMISSION. Green paper : Future noise policy. *Acta Acustica united with Acustica*, 1997, vol 83.

- [EZF 04] ELLERMEIER W., ZEITLER A. et FASTL H. Predicting annoyance judgments from psychoacoustic metrics : identifiable versus neutralized sounds. **In** : InterNoise 2004, Prague, Czech Republic, August 2004.
- [FAS 91] FASTL H. Evaluation and measurement of perceived average loudness. **In** : 5th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, Oldenburg, Germany, 1991.
- [FAS 01] FASTL H. Neutralizing the meaning of sound for sound quality evaluations. **In** : International Congress on Acoustics, Rome, Italia, September 2001.
- [FDJG⁺ 01] FIELDS J.M., DE JONG R.G., GJESTLAND T., FLINDELL I.H. et JOB R.F.S. Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys : research and a recommendation. *Journal of Sound and Vibration*, 2001, vol 242, n°4, p 641–679.
- [FKN 96] FASTL H., KUWANO S. et NAMBA S. Assessing the railway bonus in laboratory studies. *Acta-Acustica Acustica*, 1996, vol 17, n°3, p 139–148.
- [GB 92] GUSKI R. et BOSSHARDT H.G. Gibt es eine unbeeinflusste lästigkeit ? (is there such a thing as unbiased annoyance ?). *Zeitschr. für Lärmbekämpfung*, 1992, vol 39, p 67–74.
- [GC 66] GLANZER M. et CUNITZ A. Two storage mechanisms in free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1966, vol 5, p 351–360.
- [GC 01] GROS L. et CHATEAU N. Instantaneous and overall judgements for time-varying speech quality : assessments and relationships. *Acta Acustica united with Acustica*, 2001, vol 87, p 367–377.
- [GFSS 99] GUSKI R., FELSCHER-SUHR U. et SCHEMER R. The concept of noise annoyance : how international experts see it. *Journal of Sound and Vibrations*, 1999, vol 223, n°4, p 513–527.
- [GIB 01] GIBOREAU A. 4 - la méthode du temps-intensité. **In** : Urdapilleta, I. Traité d'évaluation sensorielle - Aspects cognitifs et méthodologies des perceptions, Paris, France, 2001. Dunod, p 61-73.
- [GM 02] GLASBERG B. et MOORE B. A model of loudness applicable to time-varying sounds. *Journal of the Audio Engineering Society*, 2002, vol 50, n°5, p 331–342.
- [GOT 99] GOTTSCHLING G. On the relations of instantaneous and overall loudness. *Acta Acustica united with Acustica*, 1999, vol 85, p 427–429.
- [GRE 94] GREGORY D. Analysis of listening preferences of high school and college musicians. *Journal of Research in Music Education*, 1994, vol 42, p 331–342.
- [GUA 98] GUALEZZI J-P. *Le bruit dans la ville*. Rapport technique, Éditions des Journaux Officiels, Paris, 1998.
- [GUA 03] GUASTAVINO C. *Étude sémantique et acoustique de la perception des basses fréquences dans l'environnement sonore urbain*. Thèse, Université de Paris 6, Paris, 2003, 245 p.
- [GUS 97] GUSKI R. Psychological methods for evaluating sound quality and assessing acoustic information. *Acta Acustica united with Acustica*, 1997, vol 83, p 765–774.
- [GUS 98] GUSKI R. Psychological determinants of train annoyance. **In** : InterNoise 1998, volume 1998, Munich, Germany, 1998.
- [HB 99] HELLMAN R. et BRONER N. Assessment of the loudness and annoyance of low-frequency noise from a psychoacoustical perspective. **In** : InterNoise, Fort Lauderdale, Florida, USA, 1999.
- [HC 98] HEDBERG D. et C. JANSSON. *Continuous rating of sound quality*. Master thesis, KAROLINSKA Institutet, Stockholm, Sweden, 1998.

- [HEL 36] HELLBRÜCK J. Category subdivision scaling - a powerful tool in audiometry and noise assessment. **In** : FASTL H., KUWANO S., SCHICK, A. Recent trends in hearing research. Festschrift for Seiichiro Namba, Oldenburg, Germany : BIS, Bibliotheks-und-Informationssystem der Universität Oldenburg, 1996, p 317-336.
- [HEL 96] HELLMAN R. Judged loudness of moving sound sources. **In** : InterNoise, volume 5, Liverpool, United Kingdom, 1996.
- [HFK 02] HELLBRÜCK J., FASTL H. et KELLER B. Effects of meaning of sound on loudness judgements. **In** : Forum Acusticum, Sevilla, Spain, 2002.
- [HFK 04] HELLBRÜCK J., FASTL H. et KELLER B. Does meaning of sound influence loudness judgements ? **In** : 18th International Congress on Acoustics, Tokyo, Japan, April 2004.
- [HH 94] HASHIMOTO T. et HATANO S. Roughness level as a measure for estimating unpleasantness : Modification of roughness level by modulation frequencies. **In** : Inter-Noise, Yokohama, Japan, 1994.
- [HK 99] HANSEN M. et KOLLMEIER B. Continuous assessment of time-varying speech quality. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1999, vol 105, n°5, p 2888–2899.
- [HKS⁺ 94] HIRANO I., KINOSHITA A., SHIBUYA H., NAMBA S. et KUWANO S. Subjective evaluation of car interior noise in a consecutive series of driving situations. **In** : InterNoise 1994, Yokohama, Japan, August 1994.
- [HKZ⁺ 01] HELLBRÜCK J., KATO T., ZEITLER A., CHICK A., KUWANO S. et NAMBA S. Loudness scaling of traffic noise : perceptual and cognitive factors. **In** : 17th International Congress on Acoustics, volume IV, Rome, Italy, September 2001.
- [HLKT 96] HOLMBERG K., LANDSTROM U, KJELLBERG A. et TESARZ M. Phase effect on roughness sensation of complex tones. **In** : InterNoise 1996, volume 5, Liverpool, England, 1996.
- [HZG 97] HELLBRÜCK J., ZEITLER A. et GOLD M. Continuous loudness scaling of traffic noise in outdoor settings and under laboratory conditions. **In** : InterNoise 1997, Budapest, Hungary, August 1997.
- [ILSP 03] IH J.G, LIM D.H., SHIN S.H. et PARK Y. Experimental design and assessment of product sound quality : application to a vacuum cleaner. *Noise Control Engineering Journal*, 2003, vol 51, n°4, p 244–252.
- [Int 75] INTERNATIONAL STANDARD. Acoustics - methods for calculating loudness level : Method A, Method B. ISO 532 1975. 1975. Genève : ISO, 18 p.
- [Int 03] INTERNATIONAL STANDARD. Acoustics - description, measurement and assessment of environmental noise - part 1 : Basic quantities and assessment procedures. ISO 1996-1 :2003. 2003. Genève : ISO.
- [JOH 92] JOHNSON C.M. Use of the continuous response digital interface in the evaluation of live musical performance. *Journal of Educational Technology Systems*, 1992, vol 20, p 261–271.
- [KC 96] KENDALL R. et CARTERETTE E. Difference thresholds for timbre related to spectral centroid. **In** : Proceedings of the 4th International Conference on Music Perception and Cognition, Montreal, Canada, 1996.
- [KFN 99] KUWANO S., FASTL H. et NAMBA S. Loudness, annoyance and unpleasantness of amplitude modulated sounds. **In** : InterNoise 1999, Fort Lauderdale, Florida, USA, December 1999.
- [KKKN 97] KUWANO S., KAKU J., KATO T. et NAMBA S. The experiment on loudness in field and laboratory : an examination of the applicability of laeq to mixed sound sources. **In** : InterNoise 1997, Budapest, Hungary, August 1997.

- [KLE 04] KLEMENZ M. A sound synthesis model for sound-quality optimisation of starting electric railbound vehicles. *In* : InterNoise 2004, Prague, Czech Republic, 2004.
- [KN 85] KUWANO S. et NAMBA S. Continuous judgement of level-fluctuating sounds and the relationship between overall loudness and instantaneous loudness. *Psychological Research*, 1985, vol 47, p 27–37.
- [KN 90] KUWANO S. et NAMBA S. Continuous judgement of loudness and annoyance. *In* : Fetchner Day, 6th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics, Würzburg, Germany, 1990.
- [KNH 97] KUWANO S., NAMBA S. et HAYAKAWA Y. Comparison of the loudness of inside car noises from various sound sources in the same context. *Journal of Acoustics Japanese Society*, 1997, vol 18, n°4, p 191–195.
- [KNK 94] KATO T., NAMBA S. et KUWANO S. Continuous judgement of level-fluctuating noise. *In* : InterNoise 1994, Yokohama, Japan, August 1994.
- [KNM 89] KUWANO S., NAMBA S. et MIURA H. Advantages and disadvantages of a-weighted sound pressure level in relation to subjective impression of environmental noises. *Noise Control Engineering Journal*, 1989, vol 33, p 107–115.
- [KOE 87] KOELEGH H.S. Environmental annoyance : Characterization, measurement and control. *Proceedings of the International Symposium on Environmental Annoyance*. Edited by (ED.) H. S. KOELEGH, Woudschoten, Nederland, 1987.
- [KPN 93] KUO Y.L., PANGBORN R.M. et NOBLE A.C. Temporal patterns of nasal, oral and retro-nasal perception of citral and vanillin and interaction of these odorants with selected tastants. *International Journal of Food Science and Technology*, 1993, vol 28, p 127–137.
- [KWLJ 98] KERRY G., WHEELER P., LOMAX C. et JAMES D. The assessment of noise from low flying military jet aircraft in the community. *In* : InterNoise 1998, volume 2, Christchurch, New Zealand, 1998.
- [L20 05] Loi n°2005-1319 du 26 octobre 1996 - loi portant diverses dispositions d'adaptation au droit communautaire dans le domaine de l'environnement. *Journal Officiel de la République Française*, n° 251 du 27 octobre 2005. NOR : DEVX0500055L. Disponible sur <http://www.legifrance.gouv.fr/> (consulté le 23 mai 2006).
- [L82 82] Loi n°82-1153 du 30 décembre 1982 - loi d'orientation des transports intérieurs. *Journal Officiel de la République Française*, du 31 décembre 1982. Disponible sur <http://www.legifrance.gouv.fr/> (consulté le 14 février 2006).
- [L92 93] Loi n°92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit, version consolidée au 21 septembre 2000. *Journal Officiel de la République Française*, n°1 du 1er janvier 1993. NOR : ENVX9200186L. Disponible sur <http://www.legifrance.gouv.fr/> (consulté le 14 février 2006).
- [L96 97] Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 - loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. *Journal Officiel de la République Française*, du 1er janvier 1997 1997. NOR : ENVX9500163L. Disponible sur <http://www.legifrance.gouv.fr/> (consulté le 14 février 2006).
- [LGRC 99] LALLEMAND M., GIBOREAU A., RYTZ A. et COLAS B. Extracting parameters from time-intensity curves showing accident : the example of some sensory attributes of ice cream. *Journal of Sensory Studies*, 1999, vol 14, p 1387–399.
- [LOM 84] LOMOV B.F. *Metodologitcheskiye i teoreticheskiye problemy psilogologii (Les problèmes méthodologiques et théoriques de psychologie)*. Moscou, Russia : Nauka, 1984.
- [LR 73] LINDVALL T. et RADFORD T.P. Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. *Environ. Res.*, 1973, vol 6, n°1, p 1–36.

- [LUC 59] LUCE R.D. *Individual Choice Behaviours : A Theoretical Analysis*. New York : J. Wiley, 1959.
- [LUN 92] LUNDHAL D.S. Comparing time-intensity to category scales in sensory evaluation. *Food Technology*, 1992, vol 46, n°11, p 98–103.
- [MAD 97] MADSEN C.K. Emotional response to music as measured by the two-dimensional crdi. *Journal of Music Therapy*, 1997, vol 34, p 187–199.
- [MC 01] MADSEN C.K. et COGGIOLA J.C. The effect of manipulating a crdi dial of the focus of attention of musicians/non musicians and perceived aesthetic response. *Council of Research in Music Education*, 2001, vol 149, p 13–22.
- [MFL 92] MAC FIE H.J.H et LIU Y.H. Developements in the analysis of time-intensity curves. *Food Technology*, 1992, vol 46, n°11, p 92–97.
- [MFPV 05] MARQUIS-FAVRE C., PREMAT E., AUBREE D. et VALLET M. Noise and its effects - a review on qualitative aspects of sound. part 1 : Notions and acoustics ratings. *Acta Acustica united with Acustica*, 2005, vol 91, p 613–625.
- [MGB 97] MOORE B., GLASBERG B. et BAER T. A model for the prediction of thresholds, loudness and partial loudness. *Journal of the Audio Engineering Society*, 1997, vol 45, n°4, p 224–240.
- [MHR 02] MARTIN-HOUSSART G. et RIZK C. Mesurer la qualité de vie dans les grandes agglomérations. *INSEE premiere*, octobre 2002, vol 868. 4 p.
- [Min 95] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. Décret n°95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, version consolidée au 10 janvier 1995. *Journal Officiel de la République Française*, n°8 du 10 janvier 1995, p 456. NOR :ENVP9420065D. Disponible sur [http ://www.legifrance.gouv.fr/](http://www.legifrance.gouv.fr/) (consulté le 14 février 2006).
- [ML 90] MAURIN M. et LAMBERT J. Exposure of the french population to transport noise. *Noise Control Engineering Journal*, 1990, vol 35, p 5–18.
- [MM 98] MEUNIER S. et MARCHOIONI A. *Relations entre les caractéristiques physiques et les attributs subjectifs des signaux acoustiques*. Rapport technique, Rapport final, Programme interdisciplinaire de recherche sur la ville, 1998.
- [MRF 04] MEUNIER S., RABAU G. et FRIOT E. Annoyance and loudness of pure tones in noise : application to active control of fan noise. *In* : CFA/DAGA), Strasbourg, France, mars 2004.
- [MV 95] MOURET J. et VALLET M. *Les effets du bruit sur la santé*. Rapport technique, Ministère des affaires sociales, de la santé et de la ville, 1995.
- [NEI 67] NEISSER U. *Cognitive psychology*. New York : Appleton Century Crofts, 1967. 351 p.
- [NK 80] NAMBA S. et KUWANO S. The relation between overall noisiness and instantaneous judgement of noise and the effect of background noise level on noisiness. *Journal of the Acoustical Society of Japan*, 1980, vol 1, p 99–106.
- [NK 88] NAMBA S. et KUWANO S. Measurement of habituation to noise using the method of continuous judgement by category. *Journal of Sound and Vibration*, 1988, vol 127, p 507–512.
- [NKF⁺ 04] NAMBA S., KUWANO S., FASTL H., KATO T. et KAKU J. Estimation of reaction time in continuous judgement. *In* : 18th International Congress on Acoustics, Tokyo, Japan, April 2004.
- [NKHK 91] NAMBA S., KUWANO S., HATOH T. et KATO M. Assessment of musical performance by using the method of continuous judgement by selected description. *Music Perception*, 1991, vol 8, n°3, p 251–276.
- [NKK 96] NAMBA S., KUWANO S. et KATO. . Trade-off effect between the number of events and l_{aeq} in the evaluation of train noise. *In* : InterNoise, volume 5, Liverpool, England, 1996.

- [NNJ⁺ 05] NIELSEN T., NIELSEN T.V, JOHANSEN P., HASENKAM J.M. et NYGAARD H. Psychoacoustic quantification of mechanical heart valve noise. *The Journal of Heart Valve Disease*, 2005, vol 14, n°1, p 89–95.
- [NPS 98] NOSULENKO V., PARIZET E. et SAMOYLENKO E. La méthode d'analyse des verbalisations libres : une application à la caractérisation des bruits de véhicules. *Information sur les Sciences Sociales*, 1998, vol 37, n°4, p 593–611.
- [NS 97] NOSULENKO V. et SAMOYLENKO E. Approche systémique de l'analyse des verbalisations dans le cadre de l'étude des processus perceptifs et cognitifs. *Informations sur les Sciences Sociales*, 1997, vol 36, n°2, p 223–261.
- [NS 99] NOSULENKO N. et SAMOYLENKO E. Evaluation de la qualité perçue des produits et services : approche interdisciplinaire. *International Journal of Design and Innovation Research*, 1999, vol 2, n°1.
- [NS 01] NOSULENKO V. et SAMOYLENKO E. Evaluation de la qualité perçue des produits et services : approche interdisciplinaire. *International Journal of Design and Innovation Research*, 2001, vol 2, p 35–60.
- [NS 05] NOSULENKO V. et SAMOYLENKO E. Perception des événements sonores associés aux actions du camion de livraison. *Villeurbaine - Moscou : INSA de Lyon, Laboratoire Vibrations Acoustique, Institut de Psychologie de l'Académie des Sciences de Russie*, 2005. Rapport de recherche confidentiel.
- [OEP 91] OTT D.B., EDWARDS C.L. et PALMER S.J. Perceived taste intensity and duration of nutritive and non nutritive sweeteners in water using time intensity evaluations. *Journal of Food Science*, 1991, vol 56, n°2, p 535–542.
- [OST 90] OSTROM C. *Time Series Analysis- Regression Techniques*. London : Sage Publications Inc, 1990, 96 p.
- [OVDEK 86] OVERBOSCH P., VAN DEN ENDEN J.C. et KEUR B.M. An improved method for measuring perceived intensity/time relationship in human taste and smell. *Chemical Senses*, 1986, vol 11, n°86, p 331–338.
- [PAN 06] PARIZET E., AMARI M. et NOSULENKO V. Vibro-acoustical comfort in cars at idle : comparison of three and four cylinders diesel engines. *International Journal of Vehicle Sound and Vibration*, 2006. A paraître.
- [PAU 97] PAULSEN R. On the influence of the stimulus duration on psychophysical judgement of environmental noises taken in the laboratory. **In** : InterNoise 1997, volume 3, Budapest, Hungary, August 1997.
- [PC 02] PARLEMENT EUROPÉEN et CONSEIL EUROPÉEN. Directive 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. *Journal officiel des Communautés Européennes*, n°189 du 18 juillet 2002, p 12. Disponible sur [http ://www.legifrance.gouv.fr/](http://www.legifrance.gouv.fr/) (consulté le 14 février 2006).
- [PD 01] PEYVIEUX C. et DIJKSTERHUIS G. Training a sensory panel for ti : a case study. *Food Quality and Preference*, 2001, vol 12, p 19–28.
- [PGN 06] PARIZET E., GUYADER E. et NOSULENKO V. Analysis of car door closing sound quality. *Applied Acoustics*, 2006. A paraître.
- [PHS 05] PARIZET E., HAMZAOUI N. et SABATIE G. Comparison of some listening test methods : a case study. *Acta Acustica united with Acustica*, 2005, vol 91, p 356–364.
- [PHSK 03] PARIZET E., HAMAZOUI N., SEGAUD L. et KOCH J.R. Continuous evaluation of noise uncomfot in a bus. *Acta Acustica united with Acustica*, 2003, vol 89, p 900–907.

- [PITO 98] PREIS A., ISHIBASHI M., TACHIBANA H. et OSHINO Y. Perception of the vehicle pass-by noise on different road surfaces. **In** : InterNoise 1998, volume 2, Christchurch, New Zealand, 1998.
- [PMM 96] PARIZET E., MEUMIER S. et MILLAND E. Car road noise annoyance : significant timbre parameters and inter-individual variability. *Acta Acustica united with Acustica*, 1996, vol 82, n°suppl. 1, p S216.
- [PN 99] PARIZET E. et NOSULENKO V. Multi-dimensional listening test : selection of sound descriptors and design of the experiment. *Noise Control Engineering Journal*, 1999, vol 47, p 1–6.
- [PNAL 05] PARIZET E., NOSULENKO V., AMARI M. et LORENZON C. Free verbalizations analysis of the perception of noise and vibration in cars at idle. **In** : Acta Acustica united Acta - Suppl.1, volume 91, Budapest, Hungary, August 2005.
- [PP 59] PETERSON L.R. et PETERSON M.J. Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 1959, vol 58, p 193–198.
- [PP 65] POSTMAN L. et PHILLIPS P. Short-term temporal changes in free recall. *Journal of Experimental Psychology*, 1965, vol 17, p 132–138.
- [ROU 02] ROUTHIER J-L. *Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine*. Rapport technique, Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon, France, avril 2002.
- [RUS 79] RUSSELL J.A. Affective space is bipolar. *Journal of Social Psychology*, 1979, vol 37, p 345–356.
- [SCH 92] SCHLAUCH R.S. A cognitive influence on the loudness of tones that change continuously in level. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1992, vol 92, n°2, p 758–765.
- [SCH 96] SCHMIDT C.P. Research with the continuous response digital interface : a review with implications for future research. *Philosophy of Music Education Review*, 1996, vol 4, p 20–32.
- [SCH 99a] SCHUBERT E. *Measurement and Time Series Analysis of Emotion in Music*. Thèse, University of New South Wales, Sydney, Australia, 1999.
- [SCH 99b] SCHUBERT E. Measuring emotion continuously : validity of the two dimensional emotional space. *Australian Journal of Psychology*, 1999, vol 51, p 154–165.
- [SCH 01] SCHUBERT E. Continuous measurement of self-report emotional response to music. **In** : JUSLIN P. et SLOBODA J. Music and Emotion : Theory and Research. Oxford : Oxford University Press, 2001, p 393–414.
- [SCH 04] SCHUBERT E. Research in expressing continuous emotional response to music as a function of its psychoacoustic parameters : current and future directions. **In** : 18th International Congress on Acoustics, volume II, Tokyo, Japan, April 2004.
- [SF 99] SCHULTE-FORTKAMP B. The context effect of assessments on noise annoyance. **In** : InterNoise, volume 2, Christchurch, New Zealand, 1999.
- [SM 00] SUSINI P. et McADAMS S. Psychophysical validation of a proprioceptive device by cross-modal matching of loudness. *Acta Acustica united with Acustica*, 2000, vol 86, p 515–525.
- [SMB 02] SUSINI P., McADAMS S. et BENNETT K.S. Global and continuous loudness estimation of time-varying levels. *Acta Acustica united with Acustica*, 2002, vol 88, n°3, p 536–548.
- [SMN 96] SAMOYLENKO E., McADAMS S. et NOSULENKO V. Systematic analysis of verbalizations produced in comparing musical timbres. *International journal of psychology*, 1996, vol 31, n°6, p 255–278.

- [SMS 05] SUSINI P., McADAMS S. et SMITH B.K. Loudness asymmetries for tones with increasing and decreasing levels. *Int* : International Conference on Auditory Display, Limerick, Ireland, 2005.
- [SMW 99] SUSINI P., McADAMS S. et WINSBERG S. A multidimensional technique for sound quality assessment. *Acta Acustica united with Acustica*, 1999, vol 85, n°5, p 650–656.
- [STE 51] STEVENS S.S. Handbook of experimental psychology, chapitre Mathematics, measurement and psychophysics. London : John Wiley and Sons, New York, 1951.
- [STE 56] STEVENS S.S. The direct estimation of sensory magnitudes - loudness. *The American journal of psychology*, 1956, vol 69, n°1, p 1–25.
- [STE 57] STEVENS S.S. On the psychophysical law. *Psychological Review*, 1957, vol 64, p 153–181.
- [SUS 99] SUSINI P. *Perception évolutive et globale de sons non stationnaires*. Thèse, Université du Maine, Le Mans, 1999, 216 p.
- [SWS 97] SPRINGER S., WEBER R. et SCHICK A. Instantaneous and overall loudness of temporally variable pink noise. *Int* : 7th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, 1997, p 91–98.
- [TER 74] TERHARDT E. Pitch, consonance, and harmony. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1974, vol 55, n°5, p 1061–1069.
- [TER 84] TERHARDT E. Wohlklang und lärm aus psychophysikalischer sicht. *Int* : 3rd Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, Oldenburg, Germany, 1984.
- [THU 27a] THURSTONE L.L. A law of comparative judgement. *Psychological Review*, 1927, vol 34, p 273–286.
- [THU 27b] THURSTONE L.L. Psychophysical analysis. *American Journal of Psychology*, 1927, vol 38, p 368–389.
- [TPP 04] TECHAKRIENGKRAI I., PATERSON A. et PIGGOTT J.R. Time intensity parameters of sweetness perceptions in lager beers. *Journal of the Institute of Brewing*, 2004, vol 110, n°4, p 352–359.
- [TS 81] TERHARDT E. et STOLL G. Skalierung des wohlklangs von 17 umweltschallen und untersuchung des beteiligten hörparameter. *Acustica*, 1981, vol 48, p 247–253.
- [TSS 82] TERHARDT E., STOLL G. et SEEWANN M. Algorithm for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals. *Journal of Acoustical Society of America*, 1982, vol 71, n°3, p 679–688.
- [VAL 90] VALLET M. L'évolution des exigences humaines en matières de bruit routier. *Journal d'Acoustique*, 1990, vol 3, p 281–286.
- [VB 74a] VON BISMARCK G. Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds. *Acustica*, 1974, vol 30, n°3, p 159–172.
- [VB 74b] VON BISMARCK G. Timbre of steady sound : a factorial investigation of its verbal attributes. *Acustica*, 1974, vol 30, n°3, p 146–159.
- [VB 92] VAN BUREN S. Analysing time-intensity responses in sensory evaluation. *Food Technology*, 1992, vol 46, n°2, p 101–104.
- [vNKD 03] v NOORT A.M., KOOYMAN P.P. et DITTRICH M.G. *Measurement methods for peak noise during loading and unloading*. Tno report, Netherlands : TNO, 2003.
- [WE 06] WICKELMAIER F. et ELLERMEIER W. Deriving auditory features from triadic comparisons. *Perception & Psychophysics*, 2006. in press.

- [WEB 91] WEBER R. The continuous loudness judgement of temporally variable sounds with an "analog" category procedure. **In** : 5th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, Oldenburg, Germany, 1991.
- [WEB 96] WEBER R. Characterization of complex transportation noise with psycho-acoustical parameters. **In** : InterNoise, volume 5, Liverpool, United Kingdom, 1996.
- [WID 97] WIDMANN U. A psychoacoustic annoyance concept for application in sound quality. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1997, vol 101, n°5, p 3078.
- [ZEF 04] ZEITLER A., ELLERMEIER W. et FASTL H. Significance of meaning in sound quality evaluation. **In** : CFA/DAGA Congress, Strasbourg, France, 2004.
- [ZF 99] ZWICKER E. et FASTL H. *Psycho-acoustics - facts and models, 2nd edition*. Berlin : Springer-Verlag, 1999.
- [ZWI 58] ZWICKER E. Über psychologische und methodische grundlagen der lautheit. *Acustica*, 1958, vol 8, p 237–258.
- [ZWI 87] ZWICKER E. Meaningful noise measurement and effectivenoise reduction. *Noise Control Engineering Journal*, 1987, vol 29, p 66–76.
- [ZWI 91] ZWICKER E. A proposal for defining and calculating the unbiased annoyance. **In** : 5th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, Oldenburg, Germany, 1991.

Annexes

Annexe A

Les échelles de mesure psychophysiques

En psychophysique, les chercheurs tentent de construire des échelles qui reflètent la variation des sensations correspondant aux variations des phénomènes physiques qui en sont la source. Ce qui permet de déterminer le type d'une échelle, et donc la signification psychologique possible du résultat, c'est à dire la considération des transformations que cette échelle admet [STE 51]. La classification de Stevens [STE 57] distingue quatre types d'échelles de mesure : les échelles nominales, les échelles ordinales, les échelles d'intervalles et les échelles de rapports. Elles sont caractérisées par quatre propriétés du système numérique : l'identité, l'ordre, l'intervalle et l'origine.

Les échelles nominales (identité) Les échelles nominales consistent à classer des événements, des objets en catégories en théorie mutuellement exclusives. Il s'agit de donner un nom et non une valeur numérique aux phénomènes observés. Les modalités de la variable sont de simples catégories non hiérarchisées.

Les échelles ordinales (ordre) Comme pour les variables nominales, il s'agit de catégoriser les phénomènes relevant de la variable étudiée mais en leur donnant cette fois un ordre de grandeur. Cette relation d'ordre implique la transitivité : si $a > b$ et $b > c$ alors $a > c$ (ordre d'arrivée des coureurs d'une course).

Les échelles d'intervalles (intervalle) Les échelles d'intervalle possèdent les propriétés des échelles précédentes et ont, en plus, une propriété quantitative. La distance entre les unités affectées à chaque niveau de l'échelle a un sens du point de vue de la mesure : l'ordre d'arrivée des coureurs ne donne pas d'information sur la distance qui les séparait à l'arrivée. Dans une échelle d'intervalle, cette distance (ou différence de temps) a une signification. L'exemple physique le plus connu est l'échelle des températures (Celsius ou Fahrenheit). L'unité définie pour chacune est une différence : la différence entre 10°C et 30°C est identique à celle entre 30°C et 50°C. Il est en de même pour l'échelle des niveaux acoustiques en décibels : entre deux sons de 40 dB et 80 dB, il y a une différence de 40 dB mais le second ne sera pas perçu comme ayant un niveau acoustique deux fois plus élevé que le premier. De plus, ces échelles n'ont pas de zéro absolu : il est arbitraire.

Les échelles de rapports (origine) Les échelles de rapport constituent un cas particulier des échelles d'intervalles : elles ont les mêmes propriétés d'identité et d'ordre. C'est l'existence d'un zéro absolu qui permet la comparaison des rapports entre les niveaux de l'échelle. Ainsi l'échelle des longueurs est une échelle de rapport. Il en est de même pour l'échelle de la sonie : un son de 10 sones est perçu deux fois plus fort qu'un son de 5 sones. L'origine d'une échelle de rapports est fixe, une transformation linéaire ne change pas cette origine.

Pour plus de détails, on se référera à l'ouvrage de Bonnet [BON 86].

Annexe B

Consignes pour l'évaluation perceptive de la séquence sonore synthétique

B.1 Introduction au test et consigne pour l'évaluation continue

CONSEILS AUX PARTICIPANTS

Le but de l'expérience à laquelle vous avez bien voulu participer est **d'évaluer la gêne ressentie lors de l'écoute d'une séquence sonore.**

L'expérience se déroule en deux parties : une évaluation continue et un test de comparaison par paires.

Evaluation continue :

Vous allez écouter une séquence de bruits synthétiques. La séquence dure 3 minutes.

Votre tâche consiste à évaluer la gêne des bruits présentés. Pour ce faire, vous disposez d'un boîtier avec un curseur glissant le long d'une échelle allant de « Pas du tout désagréable » à « Extrêmement désagréable ».

Vous pouvez ajuster la position du curseur en fonction de la gêne ressentie lors de l'écoute de la séquence : lorsque vous avez l'impression que la gêne augmente, déplacez le curseur vers le haut. Inversement, lorsque vous avez la sensation que la gêne diminue, abaissez le curseur.

Vous devez faire en sorte qu'à chaque instant la position du curseur représente la gêne que vous ressentez.

Au cours de l'expérience, nous vous présenterons deux séquences sonores différentes que vous aurez à évaluer.

MERCI POUR VOTRE PARTICIPATION

FIG. B.1 – Copie d'écran de la feuille de consigne distribuée aux auditeurs.

B.2 Test par paires - consigne donnée à l'écran

Lors du lancement du programme du test par paire, la consigne est affichée à l'écran de l'ordinateur : une première fenêtre apparaît et propose à l'auditeur d'écouter les quatre sons à évaluer. Cette écoute obligatoire effectuée, l'auditeur peut passer à la suite du test : la Figure B.2 montre l'interface et la consigne présentée à l'auditeur.

Form1

Quel est le son le plus désagréable ?

son A
bcp plus désa
que son B

son A
plus désa
que son B

sons A et B
aussi désagréables

son B
plus désa
que son A

son B
bcp plus désa
que son A

Ecouter la paire n°1

Valider

FIG. B.2 – Interface graphique du test de comparaison par paires. Le titre donne la consigne du test : "Quel est le son le plus désagréable ?". En utilisant la souris de l'ordinateur, le curseur peut être déplacé le long de l'échelle graduée à cinq catégories. Avant de valider sa réponse, le sujet est contraint d'écouter au moins une fois la paire de sons à évaluer.

Annexe C

Scénario de la séquence de livraison, Partie 2

C.1 Chronologie des opérations de livraison

Minute	Secondes	Actions
0	0 à 7.5	Arrivée à 40km/h + freinage et arrêt devant mannequin
	7.5 à 13.5	Ralenti moteur + arrêt moteur
	16.5	Fermeture porte chauffeur
	21.1	Ouverture porte passager
	25.4	Fermeture porte passager
	29.2	Déverrouillage porte latérale
	30.4	Ouverture porte latérale
	35	Verrouillage porte latérale en position ouverte (à la paroi camion)
	40	Déverrouillage porte latérale
	44,7	Fermeture porte latérale
	52.6	Déverrouillage targette de sécurité hayon
	56.9	Bruit pneumatique lors de l'essai des commandes du hayon
	59.5	Bruit pneumatique lors de l'essai des commandes du hayon
1	13.5 à 31	Ouverture et abaissement du hayon
	31.8 à 32.6	Commutation des commandes : boîtier -> télécommande
	34	Chauffeur monte sur le hayon
	36.8 à 47.4	Montée du hayon + couinement suspensions
	48.3	Saisie de la lanière de la partie haute du hayon
	50.6 à 51.8	Ouverture partie haute du hayon
	56.4	Transpalette mis sur pieds

Minute	Secondes	Actions
2	57.9 à 01.4	Roulement du chariot sur le plancher
	01.5	Passage des roues avant du chariot sur hayon
	02.7	Passage des roues arrière du chariot sur hayon
	07.6 à 18.6	Descente hayon
	19.5	Lâcher de la télécommande (choc sur plancher)
	20.6 à 21.9	Descente chariot du hayon
	22 à 34	Roulement du chariot à l'extérieur du camion
	34 à 35.6	Remontée du chariot sur hayon
	37.8 à 49.3	Remontée du hayon
	50	Chauffeur sur plancher
	51.5 à 53.6	Passage chariot du hayon au plancher
	53.6 à 57.2	Roulement chariot sur plancher
	57.2 à 59.4	Couche chariot au sol
3	07	Fermeture partie haute du hayon
	9.7 à 21.7	Descente du hayon
	23	Chauffeur descend du hayon
	26.9	Commutation des commandes : télécommande -> boîtier
	29.5 à 30	Fermeture du hayon + Levée hayon
	30 à 41.3	Montée du hayon
	42 à 46	Redresse hayon
	45 à 47	Pb de manip : grincement du hayon
	49 à 55	Déblocage du hayon
4	53 à 03	Redresse hayon
	03 à 05	Dernière montée hayon pour fermeture définitive
	07	Verrouillage targette de sécurité hayon
	14	Ouverture porte passager
	19	Fermeture porte passager
	24	Ouverture porte chauffeur
	28.7	Fermeture porte chauffeur
	30.3	Démarrage moteur
	32.9 à 39.6	Ralenti moteur
	39.6 à 55.9	Marche arrière
5	55.9 à 02	Ralenti moteur
	02 à 12	Passage devant mannequin en accélération (à 05 et 09, chgmt de rapport)
	18	Éloignement du camion.

TAB. C.1 – Scénario détaillé de la séquence sonore de livraison.

C.2 Schéma des opérations de la séquence de livraison

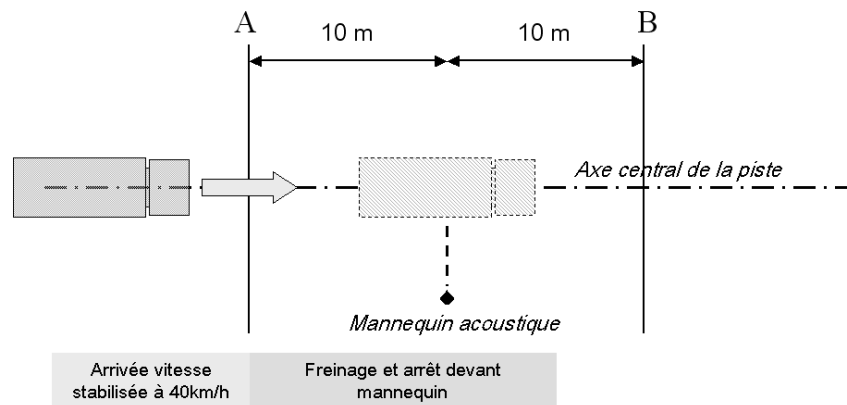


FIG. C.1 – Le véhicule arrive à vitesse stabilisée (40km/h), débute le freinage en A et s'arrête devant le mannequin. Puis le moteur est coupé.

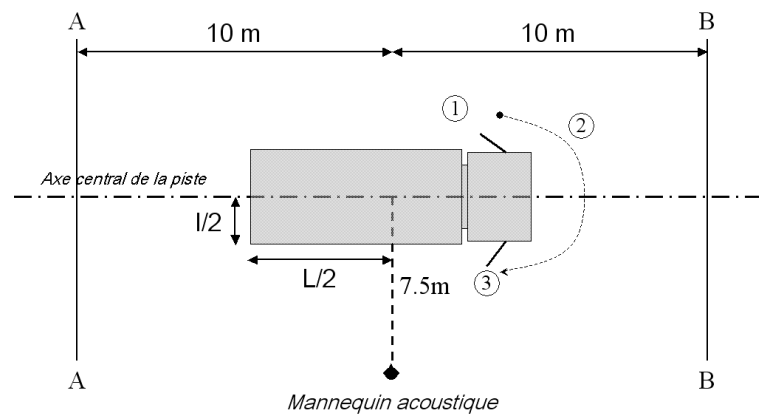


FIG. C.2 – (1) : le livreur ouvre la porte conducteur, descend de la cabine et ferme la porte. (2) : il contourne la cabine pour se diriger vers la porte passager. (3) : il ouvre et referme la porte passager.

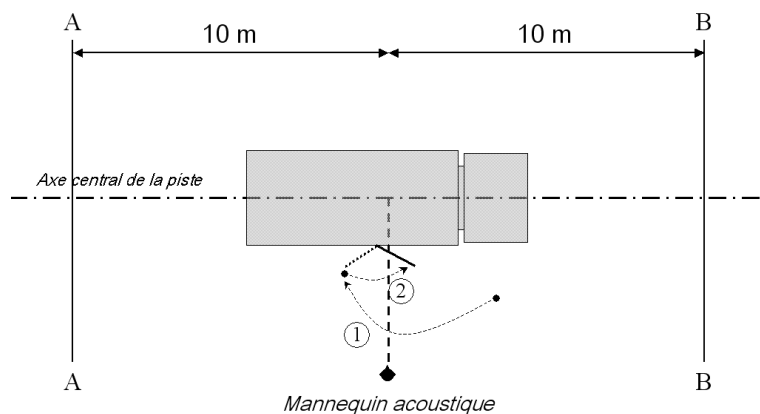


FIG. C.3 – (1) : le livreur marche le long du véhicule et se poste devant la porte latérale de la remorque. (2) : il déverrouille la porte, puis il l'ouvre entièrement (déplacement sur la droite). Il fixe alors la porte à la paroi extérieure de la remorque. Après 5 secondes, il déverrouille la porte de la paroi et la referme.

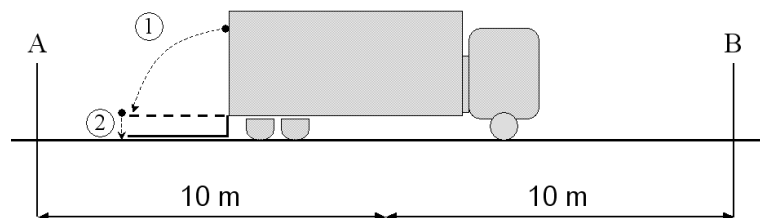


FIG. C.4 – Le livreur marche le long du camion et va se placer près de l'arrière. Il déverrouille la targette de sécurité du hayon puis, à l'aide du boîtier de commande situé sous la remorque, il actionne le hayon : (1) : ouverture du hayon et (2) : abaissement du hayon.

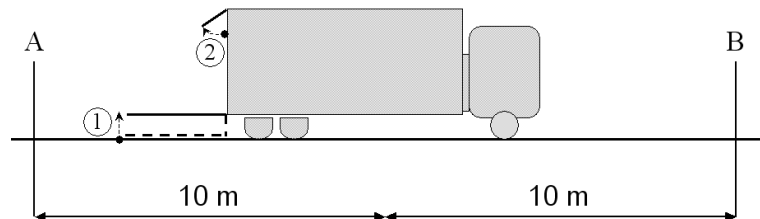


FIG. C.5 – Après être monté sur la plateforme, le chauffeur récupère la télécommande et actionne le hayon : (1) : remontée du hayon. Une fois arrivé sur le plancher, il repose la télécommande et ouvre la partie haute de la porte (2).

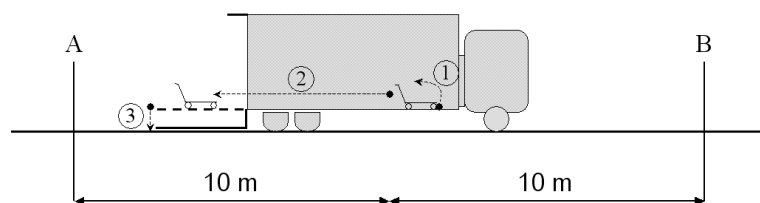


FIG. C.6 – Le livreur se déplace dans la remorque jusqu'au transpalette posé sur le sol. Il le met sur pied (1), l'amène sur le hayon (2) et redescend le hayon en utilisant la télécommande (3).

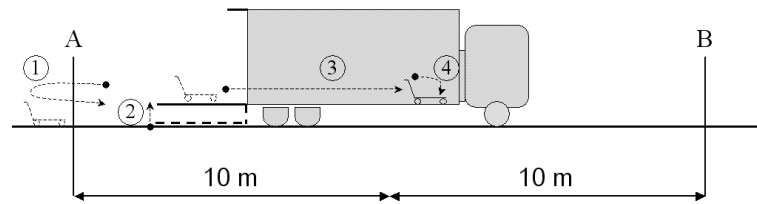


FIG. C.7 – (1) : le livreur effectue sa livraison, ie promène le chariot à l'extérieur. (2) : il repose le transpalette sur le hayon et remonte. (3). Il fait rouler le chariot sur le sol de la remorque pour le déposer ensuite sur le sol((4).

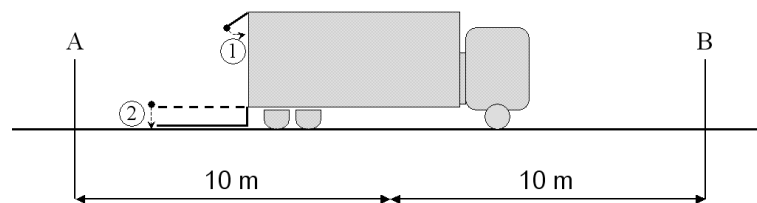


FIG. C.8 – (1) : le livreur ferme la partie haute du hayon, se poste sur la plate forme du hayon et redescend celui-ci à l'aide de la télécommande(2). Arrivé en bas, il déconnecte la télécommande pour utiliser le boîtier de commande du hayon situé à l'extérieur.

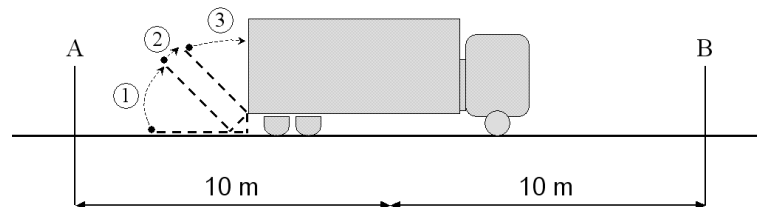


FIG. C.9 – Le livreur redresse le hayon (1), puis le remonte (2) et essaie de le refermer(3). Mais le hayon a été trop remonté et ne se referme pas correctement : problème de manipulation.

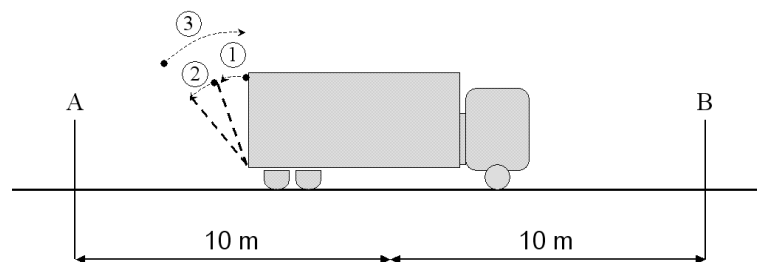


FIG. C.10 – Déblocage (1 et 2) et fermeture définitive du hayon (3) à l'aide du boîtier extérieur. Le livreur verrouille la targette de sécurité du hayon.

Annexe D

Consigne pour l'évaluation perceptive de la séquence sonore de livraison

AVIS AUX PARTICIPANTS

Le but de l'expérience à laquelle vous allez maintenant participer est d'analyser la perception des **bruits produits par un camion de livraison** arrivant à côté de chez vous.

L'expérience se déroule en **quatre sessions** :

- une première écoute de la séquence pour se familiariser avec les bruits perçus,
- une évaluation continue de la gêne perçue à l'aide du boîtier
- une troisième écoute pour vous exprimer librement sur la gêne perçue,
- une dernière évaluation continue avec le boîtier.

Objet de l'étude :

Ces bruits ont été enregistrés dans une situation réaliste. Les actions présentées sont celles d'un camion en livraison : ouvertures des portes, déplacement d'un chariot, montée/descente du hayon, arrêt/démarrage du moteurs, etc... Mais il n'y a pas d'autres bruits (pas de bruit de passage d'automobiles, de motos ou de piétons), puisque la livraison a lieu au petit matin.

Le camion utilisé a les particularités suivantes :

- il dispose d'une porte latérale :
- ainsi que d'un hayon à l'arrière :



FIG. D.1 – Page 1/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Session 1 – Description/identification des bruits

Vous allez écouter une séquence sonore de livraison et **nous signaler la nature et les actions auxquelles les bruits que vous entendez correspondent**.

Pour ce faire, nous vous demandons de **décrire à voix haute** les bruits entendus. La séquence enregistrée va durer environ 5 minutes. Dès que vous souhaitez décrire ce que vous entendez, demandez aussitôt à l'expérimentateur d'arrêter la séquence. De même, si vous le désirez, vous pouvez demander à réécouter un passage.

Résumé des actions à effectuer :

- *Identifiez les sources des bruits et décrivez à voix haute leurs caractéristiques.*
- *Lorsque vous souhaitez que la séquence soit arrêtée pour la commenter, demandez-le à l'expérimentateur à côté de vous.*

Essayez de donner un maximum de détails dans la description des bruits présentés, même si cela vous conduit à vous répéter ou à changer d'avis concernant l'un ou l'autre épisode. Vous êtes absolument libre d'organiser cet exposé à votre guise.

FIG. D.2 – Page 2/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Session 2 – Evaluation continue de la gêne perçue

Vous allez écouter la même séquence que précédemment.

Cette fois, votre tâche consiste à **évaluer la gêne** des bruits présentés. Pour ce faire, vous disposez d'un boîtier avec un curseur glissant le long d'une échelle allant de « Pas du tout désagréable » à « Extrêmement désagréable ».

Vous devez ajuster la position du curseur en fonction de la gêne ressentie lors de l'écoute de la séquence : lorsque vous avez l'impression que le gêne augmente, déplacez le curseur vers le haut. Inversement, lorsque vous avez la sensation que la gêne diminue, abaissez le curseur.

Vous devez faire en sorte qu'à chaque instant la position du curseur représente la gêne que vous ressentez.

Nous vous demandons de faire cette évaluation tout le long de la séquence présentée : de son début (arrivée du camion) jusqu'à sa fin (camion au loin). La durée totale de la séquence : 5 minutes 20s.

Résumé des actions à effectuer :

- *Appuyez sur le bouton « Marche » pour lancer la lecture de la séquence sonore.*
- *Au cours de l'écoute, déplacez le curseur en fonction de la gêne ressentie.*

Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle (camion de livraison qui arrive le petit matin à côté de chez-vous).

FIG. D.3 – Page 3/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Session 3 - Description de la gêne perçue

Nous vous demandons d'écouter la séquence présentée et de décrire à voix haute les bruits entendus et les **caractéristiques de la gêne** causée par ces bruits.

Au cours de la description, vous pouvez demander à ce que la séquence soit arrêtée afin de donner plus amplement vos impressions.

Nous vous demandons de faire cette description tout le long de la séquence présentée : de son début (arrivée du camion) jusqu'à sa fin (départ du camion). La durée totale de la séquence : 5 minutes 20.

Résumé des actions à effectuer :

- *Identifiez les sources des bruits et décrivez à voix haute leurs caractéristiques et le type de gêne qu'ils provoquent.*
- *Lorsque vous souhaitez que la séquence soit arrêtée pour la commenter, demandez-le à l'expérimentateur à côté de vous.*

Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle (camion de livraison qui arrive le petit matin à côté de chez-vous).

Décrivez les bruits et la gêne qu'ils engendrent avec un maximum de détails, même si cela vous conduit à vous répéter ou à changer votre avis concernant l'un ou l'autre épisode.

FIG. D.4 – Page 4/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Session 4 – Evaluation continue de la gêne perçue

Vous allez écouter la même séquence que précédemment.

Votre tâche consiste toujours à **évaluer la gêne** des bruits présentés. Pour ce faire, vous disposez du boîtier avec un curseur utilisé précédemment.

Vous devez ajuster la position du curseur en fonction de la gêne ressentie lors de l'écoute de la séquence : lorsque vous avez l'impression que la gêne augmente, déplacez le curseur vers le haut. Inversement, lorsque vous avez la sensation que la gêne diminue, abaissez le curseur.

Vous devez faire en sorte qu'à chaque instant la position du curseur représente la gêne que vous ressentez.

Nous vous demandons de faire cette évaluation tout le long de la séquence présentée : de son début (arrivée du camion) jusqu'à sa fin (camion au loin). La durée totale de la séquence : 5 minutes 20s.

Résumé des actions à effectuer :

- *Appuyez sur le bouton « Marche » pour lancer la lecture de la séquence sonore.*
- *Au cours de l'écoute, déplacez le curseur en fonction de la gêne ressentie.*

Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle (camion de livraison qui arrive le petit matin à côté de chez-vous).

Ne cherchez pas à reproduire la réponse de la session 2 : vous avez tout à fait le droit de changer d'avis concernant l'un ou l'autre épisode, voir sur toute la séquence.

MERCI POUR VOTRE PARTICIPATION

FIG. D.5 – Page 5/5 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Annexe E

Portraits verbaux

E.1 Manipulation du transpalette

E.1.1 Déplacement du transpalette (MS14)

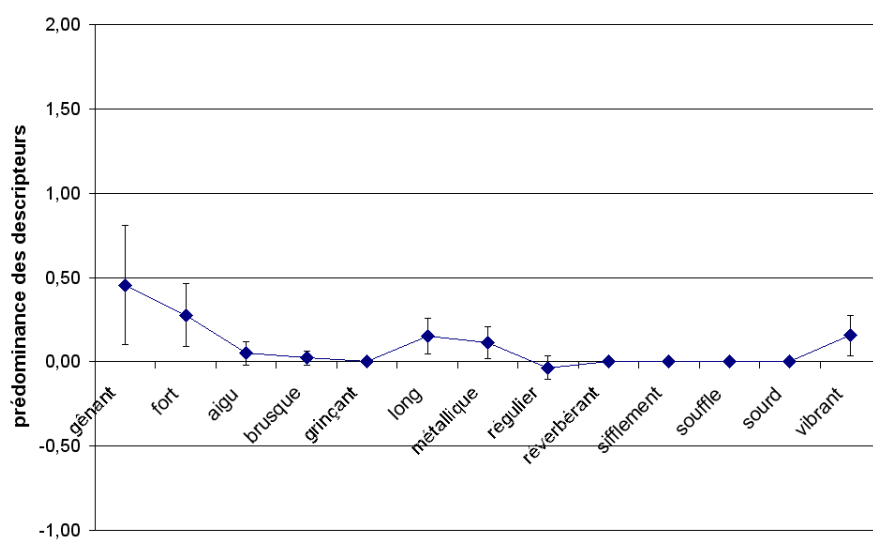


FIG. E.1 – Portrait verbal de la source *chariot* (MS14).

E.1.2 Choc du transpalette sur le sol de la remorque (MS11)

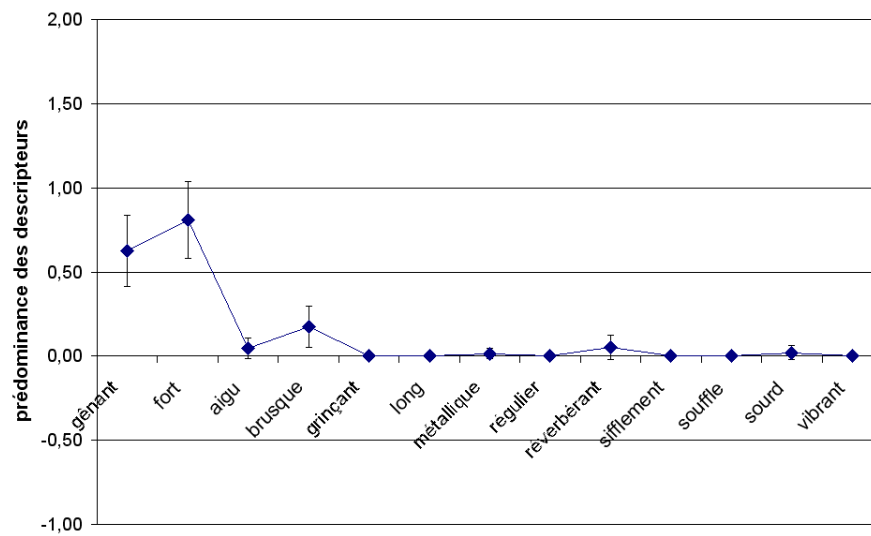


FIG. E.2 – Portrait verbal de la source *chariot* associée à l'action *taper* (MS11).

E.2 Manipulation des portes

E.2.1 Fermeture des portières de la cabine

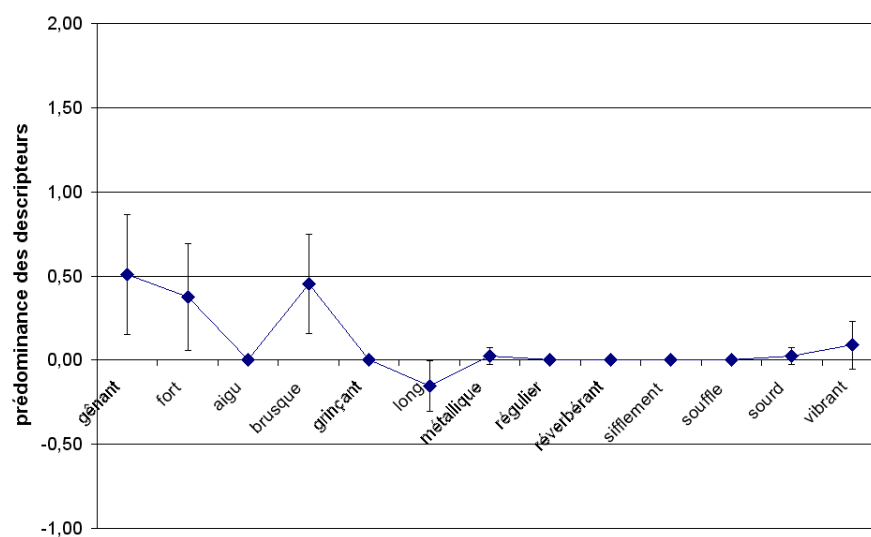


FIG. E.3 – Portrait verbal de la source *porte* associée à l'environnement *cabine* et à l'action *fermer* (toutes MS confondues).

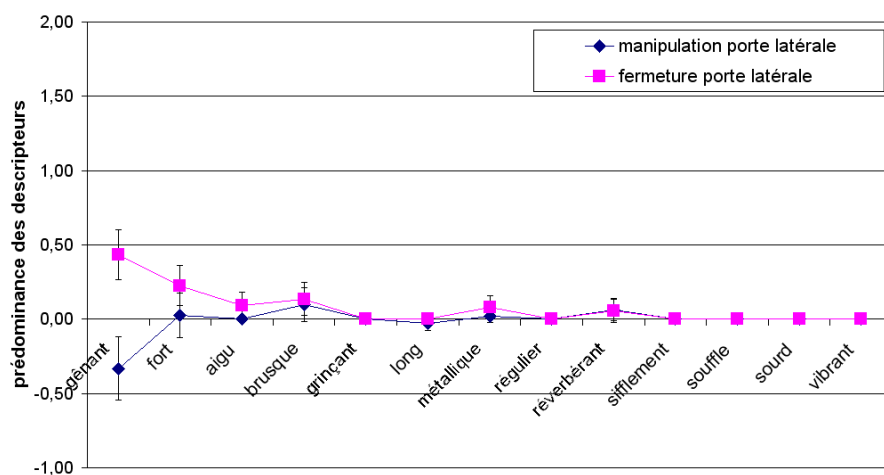


FIG. E.4 – Portraits verbaux de la source *porte* associée à l’environnement *remorque* (MS6 :ouverture + manipulation et MS7 :fermeture).

E.2.2 Utilisation de la porte latérale

E.3 Bruit des suspensions

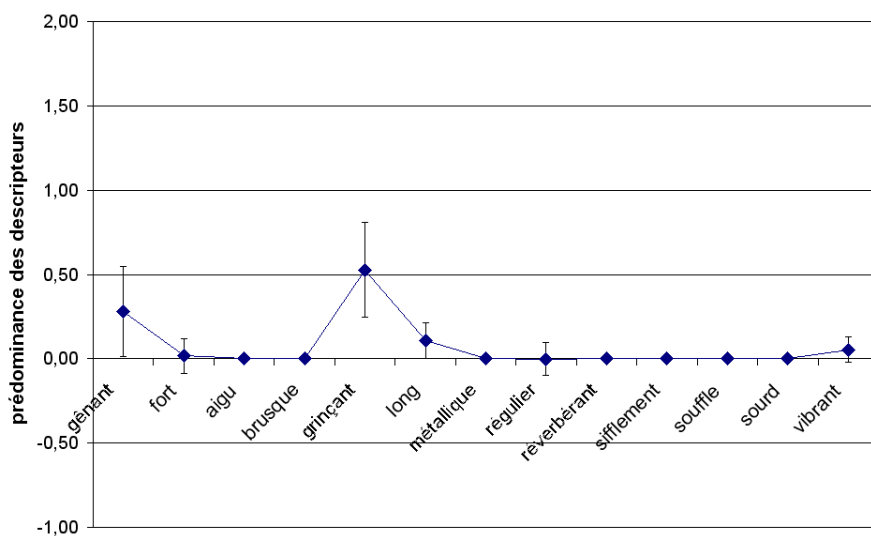


FIG. E.5 – Portrait verbal de la source *ressort* (toutes MS confondues).

Annexe F

Scénario de la séquence de livraison réduite, Partie III

Anciens n° MS	Nouveaux n° MS	Début MS en s	Description
1	1	0,0	arrivée à 40 km/h + freinage et arrêt
2	2	10,5	ralenti moteur + arrêt moteur
3	3	16,8	fermeture porte chauffeur
4	4	22	ouverture porte passager
5	5	26,3	fermeture porte passager
13	6	30,1	descente hayon
14	7	44,5	descente chariot du hayon + déplacement chariot à l'extérieur de la remorque + remontée du chariot sur hayon
15	8	62,3	remontée du hayon
22	9	78	ouverture porte passager
23	10	84,7	fermeture porte passager
24	11	90	ouverture et fermeture porte chauffeur (remontée du chauffeur dans cabine
25	12	97,1	démarrage et ralenti moteur
26	13	102,8	marche arrière + bruits de frein + ralenti moteur
27	14	129,3	ralenti moteur + départ en accélération
28	15	140,2	éloignement camion à vitesse stabilisée (40 km/h)

TAB. F.1 – Scénario de la séquence de livraison, découpage en micro-séquences (MS).

Annexe G

Consignes pour l'évaluation perceptive de la séquence de livraison intérieur/extérieur et des bruits de boîte de vitesse

AVIS AUX PARTICIPANTS

Le but de l'expérience à laquelle vous allez participer est d'évaluer les **bruits** produits par un camion de livraison.

Objet de l'étude



Le véhicule étudié est un exemplaire de la gamme Midlum de Renault Trucks, équipé d'un hayon hydraulique. Ce modèle de moyen tonnage est couramment utilisé pour les livraisons en milieu urbain.

Le hayon se situe à l'arrière du véhicule.
La photo ci contre le montre en position fermée :



Les bruits ont été enregistrés dans un contexte réaliste : les actions présentées sont celles d'une séquence typique de livraison : accélération/freinage, ouverture/fermeture des portes cabines, montée/descente du hayon. Il n'y a pas d'autres bruits (pas de bruit de passage d'automobiles, de motos ou de piétons), puisque la livraison a lieu au petit matin.

Déroulement de l'expérience

L'expérience se déroule en deux séries de tests successives :

- **Série 1 : Evaluation d'une séquence de livraison.**
 - o 4 séquences de livraison de 2min30 chacune
- **Série 2 : Evaluation de l'accélération d'un camion de livraison.**
 - o 8 séquences d'accélération de 16s chacune.

FIG. G.1 – Page 1/3 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Consigne Série 1 Evaluation d'une séquence de livraison. Cette expérience comporte au total quatre séquences sonores à évaluer : A chaque fois, il s'agit d'un camion effectuant des actions classiques de livraison. Les 4 séquences sonores ont été enregistrées à l'intérieur d'un appartement, mais certaines fenêtres ouvertes et d'autres fenêtres fermées. Pour chaque séquence, il vous sera demandé de les évaluer en deux étapes consécutives : Etape 1 : Evaluation en continu Vous allez écouter une séquence sonore. Votre tâche consiste à évaluer la gène des bruits présentés. Pour ce faire, vous disposez d'un boîtier avec un curseur glissant le long d'une échelle allant de « Pas du tout gênant » à « Extrêmement gênant ». Vous devez ajuster la position du curseur en fonction de la gène ressentie lors de l'écoute de la séquence : - lorsque vous avez l'impression que la gène augmente, déplacez le curseur vers le haut. - Inversement, lorsque vous avez l'impression que la gène diminue, abaissez le curseur. Vous devez faire en sorte qu'à chaque instant, la position du curseur représente la gène que vous percevez. Nous vous demandons de faire cette évaluation tout au long de la séquence présentée : de son début (arrivée du camion) jusqu'à sa fin (camion au loin). Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle (camion de livraison qui arrive le petit matin à côté de chez vous). Etape 2 : Evaluation globale Une fois la première étape achevée, votre tâche consiste à évaluer la gène globale de la séquence sonore que vous venez d'entendre. Pour ce faire, vous positionnez le curseur sur l'échelle graduée de « Pas du tout gênant » à « Extrêmement gênant ». Vous devez ajuster la position du curseur de manière à représenter la gène globale perçue lors de l'écoute de la séquence. Résumé des actions à effectuer pour chaque séquence sonore : - Se munir du casque et du boîtier. - Demander à l'expérimentateur de lancer la lecture de la séquence sonore. - Au cours de l'écoute, déplacez le curseur sur le boîtier en fonction de la gène perçue. - A la fin de la séquence, évaluer la gène globale en positionnant le curseur sur le boîtier. - Attendre que l'expérimentateur vous donne le signal pour repositionner le curseur à zéro.	Consigne Série 2 Evaluation de l'accélération d'un camion de livraison. Cette expérience comporte au total huit séquences sonores à évaluer : il s'agit d'un camion à l'arrêt qui quitte la zone de livraison en accélérant. Pour chaque séquence, il vous sera demandé de les évaluer en deux étapes consécutives : Etape 1 : Evaluation en continu Vous allez écouter une séquence sonore. Votre tâche consiste à évaluer la gène des bruits présentés. Pour ce faire, vous disposez d'un boîtier avec un curseur glissant le long d'une échelle allant de « Pas du tout gênant » à « Extrêmement gênant ». Vous devez ajuster la position du curseur en fonction de la gène ressentie lors de l'écoute de la séquence : - lorsque vous avez l'impression que la gène augmente, déplacez le curseur vers le haut. - Inversement, lorsque vous avez l'impression que la gène diminue, abaissez le curseur. Vous devez faire en sorte qu'à chaque instant, la position du curseur représente la gène que vous percevez. Nous vous demandons de faire cette évaluation tout au long de la séquence présentée : de son début (camion à l'arrêt) jusqu'à sa fin (camion au loin). Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle (camion de livraison qui arrive le petit matin à côté de chez vous). Etape 2 : Evaluation globale Une fois la première étape achevée, votre tâche consiste à évaluer la gène globale de la séquence sonore que vous venez d'entendre. Pour ce faire, vous positionnez le curseur sur l'échelle graduée de « Pas du tout gênant » à « Extrêmement gênant ». Vous devez ajuster la position du curseur de manière à représenter la gène globale perçue lors de l'écoute de la séquence. Résumé des actions à effectuer pour chaque séquence sonore : - Se munir du casque et du boîtier. - Demander à l'expérimentateur de lancer la lecture de la séquence sonore. - Au cours de l'écoute, déplacez le curseur sur le boîtier en fonction de la gène perçue. - A la fin de la séquence, évaluer la gène globale en positionnant le curseur sur le boîtier. - Attendre que l'expérimentateur vous donne le signal pour repositionner le curseur à zéro.
---	---

FIG. G.2 – Pages 2/3 et 3/3 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Annexe H

Consignes pour l'évaluation perceptive de la séquence de livraison réduite - Part 5

AVIS AUX PARTICIPANTS

Le but de l'expérience à laquelle vous allez participer est d'évaluer les **bruits produits par un camion de livraison**.



Le véhicule étudié est un exemplaire de la gamme Midlum de Renault Trucks, équipé d'un hayon hydraulique. Ce modèle est couramment utilisé pour les livraisons en milieu urbain.

Le hayon se situe à l'arrière du véhicule. La photo ci contre le montre en position fermée :



Les bruits ont été enregistrés dans un **contexte réaliste** : les actions présentées sont celles de séquences typiques de livraison : accélération/freinage, ouverture/fermeture des portes cabines, montée/descente du hayon. Il n'y a pas d'autres bruits (pas de bruit de passage d'automobiles, de motos ou de piétons), puisque les livraisons ont lieu au petit matin.

Déroulement de l'expérience

L'expérience se déroule en 3 sessions successives :

- **Session 1 : Evaluation en continu d'une séquence de livraison.**
 - o 1 séquence de 2min30
- **Session 2 : Evaluation en continu d'une nouvelle séquence de livraison + évaluation globale de cette même séquence**
 - o 1 séquence de 2min30
- **Session 3 : Evaluation globale d'extraits de séquences de livraison.**
 - o 8 séquences sonores entre 7s à 30s chacune

FIG. H.1 – Page 1/4 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Session 1 : Evaluation en continu d'une séquence de livraison

Vous allez écouter une séquence sonore de livraison.

Votre tâche consiste à **évaluer la gêne des bruits présentés**. Pour ce faire, vous disposez d'un boîtier avec un curseur glissant le long d'une échelle allant de « Pas du tout gênant » à « Extrêmement gênant ».

Vous devez ajuster la position du curseur en fonction de la gêne ressentie lors de l'écoute de la séquence :

- lorsque vous avez l'impression que la gêne augmente, déplacez le curseur vers le haut.
- Inversement, lorsque vous avez l'impression que la gêne diminue, abaissez le curseur.
- Vous pouvez positionner le curseur où bon vous semble sur l'échelle : aussi bien sur les graduations, qu'entre les graduations.

Vous devez faire en sorte qu'à chaque instant, la position du curseur représente la gêne que vous percevez.

Nous vous demandons de faire cette évaluation **tout au long de la séquence présentée** : de son début (arrivée du camion) jusqu'à sa fin (camion au loin).

Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle (camion de livraison qui arrive le petit matin à côté de chez vous).

Résumé des actions à effectuer :

- 1 - *Se munir du casque et du boîtier.*
- 2 - *Demander à l'expérimentateur de lancer la lecture de la séquence sonore.*
- 3 - *Au cours de l'écoute, déplacez le curseur sur le boîtier en fonction de la gêne perçue.*
- 4 - *Une fois la séquence terminée, repositionnez le curseur au bas de l'échelle.*

FIG. H.2 – Page 2/4 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Session 2 : Evaluation en continu + évaluation globale d'une séquence de livraison

Vous allez écouter une nouvelle séquence sonore de livraison. Il vous est demandé de l'évaluer en deux étapes :

Etape 1 : Evaluation en continu

Vous allez écouter la séquence sonore une seule fois.

Votre tâche est similaire à celle de l'Etape 1 : elle consiste à **évaluer la gêne des bruits présentés** à l'aide du curseur glissant le long d'une échelle allant de « Pas du tout gênant » à « Extrêmement gênant ».

Nous vous rappelons qu'il vous est demandé de faire cette évaluation **tout au long de la séquence présentée** : de son début (arrivée du camion) jusqu'à sa fin (camion au loin).

Essayez d'évaluer l'effet des bruits en imaginant une situation réelle (camion de livraison qui arrive le petit matin à côté de chez vous).

Etape 2 : Evaluation globale

Une fois la première étape achevée, votre tâche consiste à évaluer la **gêne globale** de la séquence sonore que vous venez d'entendre.

Pour ce faire, donnez une **note globale** à la séquence en positionnant le curseur sur l'échelle graduée de « Pas du tout gênant » à « Extrêmement gênant » (vous pouvez positionner le curseur où bon vous semble sur l'échelle : aussi bien sur les graduations, qu'entre les graduations).

Résumé des actions à effectuer pour chaque séquence sonore :

- 1 - *Se munir du casque et du boîtier.*
- 2 - *Demander à l'expérimentateur de lancer la lecture de la séquence sonore.*
- 3 - *Au cours de l'écoute, déplacez le curseur sur le boîtier en fonction de la gêne perçue.*
- 4 - *Une fois la séquence terminée, attendre le signal de l'expérimentateur pour donner une note globale en positionnant le curseur sur le boîtier.*
- 5 - *Attendre que l'expérimentateur vous donne le signal pour repositionner le curseur à zéro.*

FIG. H.3 – Page 3/4 de la consigne distribuée aux auditeurs.

Session 3 : Evaluation globale
d'extraits de séquences de livraison

Huit extraits des séquences sonores précédentes vont maintenant vous être présentés. Chaque séquence dure entre 7 et 30s.

Pour chaque séquence sonore, votre tâche consiste à évaluer la **gêne globale** de l'extrait sonore que vous venez d'entendre.

Pour ce faire, vous donnez une note globale en positionnant le curseur sur l'échelle graduée de « Pas du tout gênant » à « Extrêmement gênant ».

Vous pouvez positionner le curseur où bon vous semble sur l'échelle : aussi bien sur les graduations, qu'entre les graduations.

Résumé des actions à effectuer pour chaque séquence sonore :

- **1 - Se munir du casque et du boîtier.**
- **2 - Demander à l'expérimentateur de lancer la lecture de l'extrait sonore.**
- **3 - A la fin de l'extrait sonore, attendre le signal de l'expérimentateur pour donner une note globale en positionnant le curseur sur le boîtier.**
- **4 - Attendre que l'expérimentateur vous donne le signal pour repositionner le curseur au bas de l'échelle.**

FIG. H.4 – Page 4/4 de la consigne distribuée aux auditeurs.

FOLIO ADMINISTRATIF

THESE SOUTENUE DEVANT L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON

NOM : GEISSNER

DATE de SOUTENANCE : 12 décembre 2006

Prénoms : Emilie

TITRE : PERCEPTION DU BRUIT EXTERIEUR D'UN VEHICULE URBAIN DE LIVRAISON

NATURE : Doctorat

Numéro d'ordre : 2006-ISAL-00115

Ecole doctorale : Mécanique, Énergétique, Génie civil et Acoustique (MEGA)

Spécialité : Acoustique

Cote B.I.U. - Lyon : T 50/210/19 /

et bis

CLASSE :

RESUME : Le but de cette étude était de mettre en évidence les événements les plus désagréables lors de l'utilisation d'un véhicule urbain de livraison. Plus précisément, il s'agissait d'appliquer une méthode d'évaluation psycho-physique, la méthode d'évaluation continue analogique catégorielle, à l'évaluation du désagrément d'une séquence sonore de longue durée. Cette méthode, proposée par R. Weber pour l'évaluation du niveau sonore, consiste à demander à l'auditeur de déplacer un curseur coulissant continûment le long d'une échelle sur laquelle cinq catégories sont indiquées afin que la position du curseur représente à chaque instant sa perception. Dans une première partie, l'utilisation de la méthode pour l'évaluation d'un caractère complexe, le désagrément, a été validée sur des séquences sonores de synthèse. Dans une seconde partie, elle a été utilisée pour l'évaluation d'une séquence sonore réelle de livraison. En parallèle, une analyse des verbalisations libres des auditeurs a permis d'identifier des caractères sonores responsables de ce désagrément. En terme de désagrément, les deux approches ont fourni des résultats similaires. Deux autres applications ont été réalisées : la première étudiait l'influence de la boîte de vitesses (manuelle ou automatique) sur la perception du bruit en accélération d'un véhicule au démarrage. La seconde s'intéressait à la perception d'une séquence de livraison telle qu'un riverain peut l'entendre chez lui et non plus en extérieur. Dans une dernière partie, une expérience complémentaire a été menée pour mettre en évidence le lien entre évaluation continue et jugements globaux de la séquence de livraison.

MOTS-CLES : Perception sonore, bruit des transports

Laboratoire (s) de recherche : Laboratoire Vibrations Acoustique (LVA)

Directeur de thèse: Etienne PARIZET

Président de jury : Valery NOSULENKO

Composition du jury : Wolfgang ELLERMEIER (rapporteur)
Bernard FAVRE
Laetitia GROS
Valery NOSULENKO
Etienne PARIZET
Patrick SUSINI
Reinhard WEBER (rapporteur)