



HAL
open science

Contribution à la caractérisation du bruit de frottement des étoffes : application au prêt-à-porter (cas du vêtement furtif)

Khaldon Yosouf

► **To cite this version:**

Khaldon Yosouf. Contribution à la caractérisation du bruit de frottement des étoffes : application au prêt-à-porter (cas du vêtement furtif). Autre. Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2016. Français. NNT : 2016MULH8214 . tel-01548624

HAL Id: tel-01548624

<https://theses.hal.science/tel-01548624v1>

Submitted on 27 Jun 2017

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.

Université de Haut-Alsace

Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles - LPMT

THESE

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université de Haut-Alsace

Discipline : Mécanique

Par

Khaldon YOSOUF

Contribution à la caractérisation du bruit de frottement des étoffes : application au Prêt-à-Porter (Cas du vêtement furtif)

Soutenance Publique le 18 Mars 2016

Membres du jury :

Prof. Ludovic KOEHL	Ensait/Gemtex, Roubaix	Rapporteur
Dr. Sylvie CHOLLET (HDR)	Institut Charles Violette, Lille	Rapporteur
Prof. Alain DIETERLEN	UHA/UT, GEii, ICS, Mulhouse	Examineur
Dr. Véronique ZIMPFER	ISL, Saint-Louis	Examinatrice
Dr. Emilie DREAN	ENSISA, Mulhouse	Invitée
Prof. Laurence SCHACHER	ENSISA, Mulhouse	Co-Directeur de thèse
Prof. Dominique ADOLPHE	ENSISA, Mulhouse	Co-Directeur de thèse

CONTENU

<i>Remerciement</i>	I
<i>Liste des figures</i>	II
<i>Liste des tableaux</i>	VIII
Glossaire.....	XII
Introduction générale	1
I. Partie bibliographique	5
Chapitre 1	6
<i>Généralités sur le textile</i>	6
1 Introduction	7
2 La fibre.....	7
3 Le fil	7
4 Les étoffes	7
4.1 Le tissage.....	8
4.1.1 L'armure	9
4.2 Paramètres mécaniques et physiques des étoffes	10
4.3 Frottement des textiles	11
5 Bruit de frottement des textiles	13
6 Conclusion	15
Chapitre 2	16
<i>Généralités sur le son et l'analyse de signaux sonores</i>	16
7 Le son et le bruit	17
7.1 Aspects objectif et subjectif.....	17
7.2 Son pur et son complexe	17
7.3 Caractérisation du son.....	18
7.3.1 Intensité du son	18
7.3.2 Hauteur du son	19
7.3.3 Timbre du son.....	20
8 Analyse du signal sonore.....	20
8.1 Analyse spectrale.....	20
8.1.1 Echantillonnage.....	21
8.1.2 Segmentation du signal	21

8.1.3	Transformée de Fourier	22
8.1.4	Transformée temps-fréquence	24
8.1.4.1	Transformée en S.....	25
8.1.4.2	Décomposition en Valeurs Singulières (DVS)	27
9	Indicateurs de bruit	29
10	Conclusion	30
Chapitre 3	31
<i>Perception auditive et analyse sensorielle</i>	31
11	Sensation et perception.....	32
11.1	Perception auditive	33
11.1.1	Le système auditif	33
11.1.1.1	Perception de l'intensité	35
11.1.1.2	Perception de la hauteur	37
11.1.1.3	Perception du timbre	37
12	Analyse sensorielle	38
12.1	Caractéristiques de la réponse sensorielle	38
12.2	Rôle et applications de l'analyse sensorielle.....	40
12.3	Méthodes d'analyse sensorielle	44
12.3.1	Les tests descriptifs.....	44
12.3.2	Profil sensoriel.....	46
12.3.3	Protocole d'établissement d'un profil sensoriel conventionnel	46
12.3.3.1	Choix des sujets.....	46
12.3.3.2	Génération des descripteurs.....	48
13	Corrélation données instrumentales/sensorielles.....	54
14	Traitement statistique des données	56
14.1	Analyse de la variance (ANOVA).....	56
14.2	Test de comparaison multiple	57
14.2.1	T Student	57
14.2.2	Test de Duncan	58
14.3	Analyse en Composantes Principales (ACP).....	58
14.4	Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)	60
14.5	Analyse de corrélation.....	61
14.6	Analyse de régression.....	61
15	Conclusion	63

20	Matériels et méthodes.....	125
20.1	Choix des sujets	125
20.2	Choix des descripteurs	128
20.2.1	Génération des descripteurs	128
20.2.2	Elimination des termes par un premier tri (qualitatif)	130
20.2.3	Elimination des termes grâce à un deuxième tri (quantitatif)	131
20.2.4	Elimination des termes par un troisième tri (statistique)	134
21	Résultats.....	140
21.1	La liste descriptive	140
21.2	Entraînement de panel a l'emploi de la liste réduite	141
21.2.1	Contrôle les performances des panélistes.....	143
21.2.1.1	La répétabilité des panélistes	143
21.2.1.2	Le pouvoir de discrimination des panélistes.....	150
21.2.1.3	Homogénéité des réponses des panélistes.....	151
21.3	Caractérisation du bruit de frottement des armures en coton écru a la vitesse de marche	155
21.4	Résultats concernant le bruit généré pour la vitesse de course.....	168
21.4.1	Contrôle les performances des panélistes.....	168
21.4.2	Caractérisation du bruit de frottement des armures en coton écru pour la vitesse de course.....	171
21.5	Comparaison entre la perception auditive du bruit de frottement des étoffes pour les deux vitesses de frottement.....	178
22	Conclusion	182
	Chapitre 3	183
	<i>Corrélation des données et développement d'un vêtement furtif.....</i>	183
23	Introduction	184
24	Corrélation entre le niveau sonore et les parametres mécaniques.....	184
24.1	Cas de la marche	185
24.2	Cas de la course.....	191
25	Corrélation entre le niveau sonore et les descripteurs sensoriels.....	199
25.1	Cas de la marche.....	199
25.2	Cas de la course.....	204
26	Développement d'un vêtement furtif.....	209
26.1	Confection de la veste.....	210

26.1.1	Cas de la veste avec la manche montée	210
26.1.2	Confection la veste avec une manche raglan.....	211
26.2	Enregistrement et analyse du bruit de frottement de la veste.....	212
27	Conclusion	215
III.	Conclusions générales et perspectives.....	217
28	Conclusions générales.....	218
29	Perspectives.....	224
	Références	226
	Annexes	245
	Annexe 1.....	246
	Annexe 2.....	248
	annexe 3.....	249
	Annexe 4.....	251
	Annexe 5.....	253
	Annexe 6.....	261
	Annexe 7.....	264
	Annexe 8.....	265
	Annexe 9.....	275
	Annexe 10.....	279
	Annexe 11.....	280
	Annexe 12.....	286
	Annexe 13.....	288
	Annexe 14.....	290
	Annexe 15.....	292
	Annexe 16.....	293

Remerciement

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sein du Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles de Mulhouse. Je remercie tous les membres du LPMT pour leur accueil durant ma période de la thèse.

J'exprime ici tous mes remerciements et ma gratitude à **Mme. Laurence SCHACHER** et **M. Dominique ADOLPHE** pour leur encadrement, leur disponibilité, leur encouragement, leur soutien et leurs conseils pour réaliser ce travail sans oublier leur bonne humeur communicative.

Je voudrais remercier les rapporteurs de cette thèse **M. Ludovic KOEHL** Professeur des Universités à l'Ensait/Gemtex (Roubaix), et **Mme. Sylvie CHOLLET**, DR, responsable du laboratoire d'analyse sensorielle, Institut Charles Violette (Lille).

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à **Mme. Véronique ZIMPFER**, **Mme Emilie Drean**, **M. Alain DIETERLEN** et **M. Ali MOUKADEM** pour leur disponibilité, leur aide et leurs conseils.

Je remercie également mon université **ALBAATH** (en Syrie) pour la bourse présentée pendant mes études en France.

Mes remerciements vont également aux membres du panel sensoriel : Agnès, Marie-Anne, Dao, Aurélie, Raquel, Sliman, Antoine, Philippe, Christian, Florence et Sébastien. Sans eux ce travail n'aurait jamais pu être possible. Je les remercie pour leur disponibilité, leur réactivité et leur motivation pendant tout au long la période de ce travail.

Je remercie chaleureusement tous mes collègues, mes amis et toutes les personnes qui m'ont aidé ou conseillé pour réaliser ce travail.

Enfin, je tiens à remercier ma famille pour son soutien et leurs encouragements pendant toute la période de mon séjour en France.

Un remerciement particulier est adressé à mon épouse **Soher** qui m'a soutenu et encouragé tout le temps. Je la remercie pour sa patience et sa bonne humeur.

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de principe d'un métier à tisser	8
Figure 2 : La structure des armures	10
Figure 3 : Echelle du bruit des sources sonores selon la sensibilité de l'oreille humaine	19
Figure 4 : Seuil choisi pour segmenter le signal	22
Figure 5 : Spectre d'amplitude obtenu par FFT pour deux séries temporelle différentes	24
Figure 6 : Mono-résolution avec TFCT, et multi-résolution avec TOC et transformée en S	25
Figure 7 : Fonction de distribution et l'histogramme du premier vecteur singulier, gauche et droite, d'un signal cardiaque	29
Figure 8 : Niveau efficace de bruit perçu au maximum - 10 dB	30
Figure 9 : Champ auditif d'être humain et le seuil de perception	33
Figure 10 : Structure de système auditif chez l'homme.....	34
Figure 11 : Relation entre l'intensité physique du son et l'intensité perçue	36
Figure 12 : Variation l'intensité de la sensation en fonction de la grandeur du stimulus.....	39
Figure 13 : Echelle d'évaluation subjective du descripteur <i>hard-soft</i>	43
Figure 14 : Exemple de test de perte auditive des sujets	47
Figure 15 : Protocole de l'établissement de profil sensoriel conventionnel	54
Figure 16 : Placement de capteur de la pression.....	67
Figure 17 : Courbe d'étalonnage du capteur	67
Figure 18 : Générateur du bruit des étoffes	69
Figure 19 : Armures des étoffes testées	71
Figure 20 : Signature acoustique pour le coton commercial en toile: a-marche b-course.....	74
Figure 21 : Signature acoustique pour le coton commercial en satin 5: a-marche b-course.....	74
Figure 22 : Signature acoustique pour le polyester commercial en toile: a-marche b-course	75
Figure 23 : Signature acoustique pour le polyester commercial en satin 3 : a-marche b-course.....	75
Figure 24 : Signature acoustiques des armures en coton écru pour la vitesse de la marche :.....	76
Figure 25 : Signature acoustique des armures en coton écru pour la vitesse de la course :.....	76
Figure 26 : Spectre sonore, en tiers d'octave, de coton commercial en toile - marche	77
Figure 27 : Test t Student pour les étoffes commerciales en toile - marche.....	79
Figure 28 : Test t Student pour les étoffes commerciales en toile – course.....	80
Figure 29 : Comparaison le niveau sonore global des étoffes d'armure toile pour les deux vitesses de frottement.....	81
Figure 30 : Test t Student pour les étoffes commerciales en satin – marche.....	82
Figure 31 : Test t Student pour les étoffes commerciales en satin – course	83
Figure 32 : Comparaison le niveau sonore global des étoffes d'armure satin pour les deux vitesses de frottement	84
Figure 33 : Comparaison du niveau sonore global entre la toile et le satin : a- marche b- course	85
Figure 34 : Bande passante du bruit des étoffes : a-marche b-course.....	89
Figure 35 : Spectre sonore des bruits de bande large ($\Delta f > 8,5$) - marche	91

Figure 36 : Spectre sonore des bruits de bande moyenne ($6 < \Delta f < 8,5$) – marche.....	92
Figure 37 : Spectre sonore des bruits de bande étroite ($\Delta f < 6$) – marche	92
Figure 38 : Spectre sonore des bruits de bande large ($\Delta f > 8,5$) – course.....	93
Figure 39 : Spectre sonore des bruits de bande moyenne ($6 < \Delta f < 8,5$) - course.....	93
Figure 40 : Spectre sonore des bruits de bande étroite ($\Delta f < 6$) - course	94
Figure 41 : Structures des armures en coton écru	98
Figure 42 : Spectre sonore des armures : satin 5, toile, chevron à la vitesse de marche (à gauche) et à la vitesse de course (à droite).....	101
Figure 43 : Bande passante des armures satin 5, toile, chevron pour la vitesse de marche (à gauche) et pour la vitesse de course (à droite).....	101
Figure 44 : Spectre sonore des armures coton écru: a- marche b- course.....	102
Figure 45 : Bande passante des armures coton écru pour la vitesse de marche (à gauche) et pour la vitesse de course (à droite).....	102
Figure 46 : Test CHA du niveau sonore global des bruits des armures coton écru: a- marche b- course	104
Figure 47 : Test CHA d'amplitude du maximum des bruits des armures coton écru : a-marche b- course	105
Figure 48 : Test CHA de fréquence du maximum des armures coton écru : a- marche b- course ..	105
Figure 49 : Test CHA de différence fréquentielle des armures coton écru : a- marche b- course...	106
Figure 50 : Test CHA de plage d'amplitude des armures coton écru : a- marche b- course.....	106
Figure 51 : Interface de transformée en S d'un signal sonore d'étoffe textile.....	108
Figure 52 : Transformée en S pour coton écru en satin 5 – marche	109
Figure 53 : Transformée en S pour coton écru en toile – marche	109
Figure 54 : Transformée en S pour coton écru en satin 5- course	109
Figure 55 : Histogrammes des vecteurs singuliers de première période : A1 (aller), B1 (retour)...	111
Figure 56 : Histogrammes des vecteurs singuliers de deuxième période : A2 (aller), B2 (retour)..	111
Figure 57 : Distance de différence entre l'aller et le retour – marche	113
Figure 58 : Distance de différence entre l'aller et le retour – course	116
Figure 59 : Différence entre les allers et les retours pour chevron – marche	119
Figure 60 : Distance de différence entre les allers et les retours pour chevron –course.....	120
Figure 61 : Distance de différence entre les allers et les retours pour sergé 3 – marche	121
Figure 62 : Distance de différence entre les allers et les retours pour sergé 3 – course	122
Figure 63 : Audiogramme du panéliste P7.....	126
Figure 64 : Courbe d'audiogramme des panélistes	127
Figure 65 : Formulaire de génération des descripteurs	129
Figure 66 : Formulaire du deuxième tri (quantitatif)	132
Figure 67 : Cercle de corrélation des descripteurs dans l'espace factoriel (F1, F2).....	135
Figure 68 : Cercle de corrélation des descripteurs dans l'espace factoriel (F1, F3).....	136
Figure 69 : Cercle de corrélation des descripteurs dans l'espace factoriel (F1, F4).....	137
Figure 70 : Cercle de corrélation des descripteurs dans l'espace factoriel (F1, F5).....	137
Figure 71 : CHA pour les descripteurs descriptifs.....	140
Figure 72 : Notes attribuées aux descripteurs dans la première phase d'entraînement	142

Figure 73 : Répétabilité du panéliste P2- marche	144
Figure 74 : Répétabilité du panéliste P7- marche	144
Figure 75 : Répétabilité du panéliste P6- marche	145
Figure 76 : Répétabilité du panéliste P8- marche	145
Figure 77 : Répétabilité du panéliste P5- marche	145
Figure 78 : Indice moyenne de la répétabilité des panélistes- marche.....	146
Figure 79 : Profil sensoriel d'un panéliste répétable (P7)- marche	147
Figure 80 : Profil sensoriel d'un panéliste moins répétable (P9)- marche	147
Figure 81 : Répétabilité du panel pour l'étoffe commerciale en polyamide d'armure satin 3- marche	148
Figure 82 : Répétabilité du panel pour l'étoffe en coton écru d'armure satin 5- marche	148
Figure 83 : Répétabilité des panélistes pour le descripteur <i>abrasif</i> - marche	149
Figure 84 : Répétabilité des panélistes pour le descripteur <i>limant</i> - marche	149
Figure 85 : ACP pour l'ensemble des réponses sensorielles des panélistes -marche	153
Figure 86 : ACP du descripteur <i>grinçant</i> - marche	157
Figure 87 : ACP du descripteur <i>chuintant</i> - marche	157
Figure 88 : ACP du descripteur <i>couinant</i> - marche	158
Figure 89 : ACP du descripteur <i>sifflant</i> - marche	158
Figure 90 : ACP du descripteur <i>grave-aigu</i> - marche	159
Figure 91: Profil sensoriel du bruit de frottement des armures en coton écru- marche.....	160
Figure 92 : Profil sensoriel des armures : satin 5, chevron, toile.....	163
Figure 93 : Test CHA pour l'évaluation sensorielle des armures - marche	165
Figure 94 : Carte de représentation des armures- marche.....	166
Figure 95 : Test ACP des descripteurs dans la phase de caractérisation du bruit de frottement - marche.....	167
Figure 96 : Test CHA des descripteurs dans la phase de caractérisation du bruit de frottement- marche.....	168
Figure 97 : Répétabilité du panéliste P3- course.....	169
Figure 98 : ACP pour le descripteur <i>grinçant</i> - course	172
Figure 99 : ACP pour le descripteur <i>chuintant</i> - course	173
Figure 100 : Profil sensoriel des armures en coton écru - course	173
Figure 101 : Test CHA pour l'évaluation sensorielle du bruit - course	176
Figure 102 : Carte de représentation des armures – course	177
Figure 103 : Test ACP des descripteurs dans la phase de caractérisation du bruit – course	178
Figure 104 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure satin 5 pour les deux vitesses de frottement.....	179
Figure 105 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure sergé 3 pour les deux vitesses de frottement.....	179
Figure 106 : Comparaison la classification des armures en terme sensoriel : à gauche (marche) et à droite (course)	181
Figure 107 : Relation entre la rugosité et le niveau sonore global - marche.....	187
Figure 108 : Relation entre la rugosité et le niveau sonore transformés - marche.....	188

Figure 109 : Relation entre la résilience de compression et le niveau sonore	189
Figure 110 : Représentation du modèle 1 - marche	191
Figure 111 : Relation entre la rugosité des étoffes et le niveau sonore – course	192
Figure 112 : Relation entre la rugosité et le niveau sonore transformés – course	193
Figure 113 : Relation entre l'énergie de compression et le niveau sonore - course	193
Figure 114 : Relation entre l'énergie de compression et le niveau sonore transformés- course	194
Figure 115 : Représentation du modèle 1 – course	197
Figure 116 : Représentation du modèle 1 –général.....	199
Figure 117 : Relation entre le descripteur monotone-polyphonique et le niveau sonore du bruit de frottement - marche.....	202
Figure 118 : Relation entre le descripteur grattage et le bruit de frottement – marche	202
Figure 119 : Présentation du modèle 2 – marche.....	203
Figure 120 : Relation entre le descripteur monotone-polyphonique et le bruit de frottement – course	206
Figure 121 : Représentation du modèle 2 – course	207
Figure 122 : Représentation du modèle 2- général	208
Figure 123 : Armure de la veste fabriquée.....	209
Figure 124 : Les pièces extraites de la veste avec des manches montées.....	211
Figure 125 : Les pièces extraites de la veste avec des manches raglan	212
Figure 126 : Prototype finale de la veste: à gauche avec une manche montée et à droite avec une manche raglan	212
Figure 127 : Génération et enregistrement du bruit de la veste: à gauche avec une manche montée et à droite avec une manche raglan	213
Figure 128 : Profil sensoriel du bruit de frottement de la veste- marche.....	214
Figure 129 : Profil sensoriel du bruit de frottement de la veste- course	215
Figure 130 : Dispositif de Walter pour génération du bruit frottement	246
Figure 131 : Dispositif de Fujimoto pour génération du bruit de frottement	246
Figure 132 : Dispositif de Yi et Cho pour génération du bruit de frottement	246
Figure 133 : Dispositif de Cooper pour génération du bruit de frottement	247
Figure 134 : Courbes isosoniques	248
Figure 135 : Signature acoustique pour l'étoffe en soie d'armure toile : a- marche b-course.....	261
Figure 136 : Signature acoustique pour l'étoffe en polyamide/polyuréthane d'armure toile : a- marche b- course	261
Figure 137 : Signature acoustique pour l'étoffe en polyamide d'armure satin 3 : a- marche b- course	261
Figure 138 : Signature acoustique pour l'étoffe en polyamide d'armure toile : a- marche b- course	262
Figure 139 : Signature acoustique pour l'étoffe en lin d'armure toile : a- marche b- course.....	262
Figure 140 : Signature acoustique pour l'étoffe non-tissé : a- marche b- course	262
Figure 141 : Signature acoustique pour l'étoffe en coton écru d'armure crêpe : a- marche b- course	263

Figure 142 : Signature acoustique pour l'étoffe en coton écru d'armure satin 4: a- marche b- course	263
Figure 143 : Signature acoustique pour l'étoffe en coton écru d'armure sergé 4: a- marche b-course	263
Figure 144 : Distance de différence entre les allers et les retours pour crêpe – marche.....	265
Figure 145 : Distance fréquentielle entre les allers et les retours pour crêpe – course.....	266
Figure 146 : Distance de différence entre les allers et les retours pour satin 4 – marche.....	267
Figure 147 : Distance de différence entre les allers et les retours pour satin 4 – course	268
Figure 148 : Distance de différence entre les allers et les retours pour satin 5 – marche.....	269
Figure 149 : Distance de différence entre les allers et les retours pour satin 5- course.....	270
Figure 150 : Distance de différence entre les allers et les retours pour sergé 4- marche.....	271
Figure 151 : Distance entre les allers et les retours pour sergé 4- course	272
Figure 152 : Distance de différence entre les allers et les retours pour toile – marche	273
Figure 153 : Distance de différence entre les allers et les retours pour toile – course.....	274
Figure 154 : Test d'audiogramme du panéliste P1	275
Figure 155 : Test d'audiogramme du panéliste P2	275
Figure 156 : Test d'audiogramme du panéliste P3	275
Figure 157 : Test d'audiogramme du panéliste P4	276
Figure 158 : Test d'audiogramme du panéliste P5	276
Figure 159 : Test d'audiogramme du panéliste P6	276
Figure 160 : Test d'audiogramme du panéliste P8	277
Figure 161 : Test d'audiogramme du panéliste P9	277
Figure 162 : Test d'audiogramme du panéliste P10	277
Figure 163 : Test d'audiogramme du panéliste P11	278
Figure 164 : Répétabilité du panéliste P1-marche	280
Figure 165 : Répétabilité du panéliste P3-marche	280
Figure 166 : Répétabilité du panéliste P4- marche	280
Figure 167 : Répétabilité du panéliste P9- marche	281
Figure 168 : Répétabilité du panéliste P10- marche	281
Figure 169 : Répétabilité du panéliste P11- marche	281
Figure 170 : Répétabilité du panéliste P1- course.....	282
Figure 171 : Répétabilité du panéliste P2- course.....	282
Figure 172 : Répétabilité du panéliste P4- course.....	282
Figure 173 : Répétabilité du panéliste P5- course.....	283
Figure 174 : Répétabilité du panéliste P6- course.....	283
Figure 175 : Répétabilité du panéliste P7- course.....	283
Figure 176 : Répétabilité du panéliste P8- course.....	284
Figure 177 : Répétabilité du panéliste P9- course.....	284
Figure 178 : Répétabilité du panéliste P10- course.....	284
Figure 179 : Répétabilité du panéliste P11- course.....	285
Figure 180 : Profil sensoriel de premier groupe des étoffes considérées comme références	288
Figure 181 : Profil sensoriel de deuxième groupe des étoffes considérées comme références	289

Figure 182 : Profil sensoriel de troisième groupe des étoffes considérées comme références	289
Figure 183 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure chevron pour les deux vitesses de frottement.....	290
Figure 184 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure crêpe pour les deux vitesses de frottement.....	290
Figure 185 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure satin 4 pour les deux vitesses de frottement.....	291
Figure 186 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure sergé 4 pour les deux vitesses de frottement.....	291
Figure 187 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure toile pour les deux vitesses de frottement.....	291
Figure 188 : Construction le milieu dos et devant de la veste avec une manche montée	294
Figure 189 : Construction la manche montée. A gauche le dessus de la manche et à droite le dessous de la manche.....	295
Figure 190 : Construction le col.....	296
Figure 191 : Construction le milieu dos et devant de la veste avec une manche raglan.....	297
Figure 192 : Construction la manche raglan. A gauche la partie antérieure et à droite la partie postérieure.....	299

Liste des tableaux

Tableau 1 : Vitesse de frottement	66
Tableau 2 : Surface de frottement	66
Tableau 3 : La pression appliquée à la zone du frottement.....	68
Tableau 4 : Vitesse de frottement correspond à la tension du moteur	68
Tableau 5 : Caractérisations des étoffes textiles	70
Tableau 6 : Niveau sonore global du bruit de frottement des étoffes - marche	77
Tableau 7 : Niveau sonore global du bruit de frottement des étoffes - course	78
Tableau 8 : ANOVA pour les étoffes commerciales en toile - marche	78
Tableau 9 : Test LSD pour les étoffes commerciales en toile- marche	79
Tableau 10 : ANOVA des étoffes commerciales en toile - course	80
Tableau 11 : Test LSD pour les étoffes commerciales en toile - course.....	81
Tableau 12 : Test LSD pour les niveaux sonores d'armure toile pour les deux vitesses de frottement	82
Tableau 13 : ANOVA pour les étoffes commerciales en satin - marche	82
Tableau 14 : Test LSD pour les étoffes commerciales en satin - marche	82
Tableau 15 : ANOVA pour les étoffes commerciales en satin - course	83
Tableau 16 : Test LSD pour les étoffes commerciales en satin - course	83
Tableau 17 : Test LSD pour les niveaux sonores des étoffes d'armures satin pour les deux vitesses de frottement	84
Tableau 18 : Test LSD du niveau sonore des armures toile et satin pour les deux vitesses de frottement.....	85
Tableau 19 : Amplitude du maximum de spectre sonore des étoffes commerciales	86
Tableau 20 : Plage de l'amplitude des étoffes commerciales.....	87
Tableau 21 : Bande passante du bruit de frottement des étoffes.....	89
Tableau 22 : Différence fréquentielle du spectre sonore des étoffes commerciales	90
Tableau 23 : Classement le bruit de frottement des étoffes dans le domaine fréquentiel.....	91
Tableau 24 : Distance de ressemblance des bruits de frottement des étoffes commerciales - marche	95
Tableau 25 : Distance de ressemblance des bruits de frottement des étoffes commerciales - course	96
Tableau 26 : Caractéristiques des étoffes en coton écru avec les armures: crêpe, satin 4 et sergé 4.....	97
Tableau 27 : Propriétés sonores des armures en coton écru - marche	98
Tableau 28 : Propriétés sonores des armures en coton écru - course.....	98
Tableau 29 : Test LSD pour le niveau sonore global des armures coton écru - marche.....	103
Tableau 30 : Test LSD pour le niveau sonore global des armures coton écru - course.....	103
Tableau 31 : Distance de ressemblance des spectres sonores des armures coton écru- marche.....	107
Tableau 32 : Distance de ressemblance des spectres sonores des armures coton écru - course	107
Tableau 33 : Distance de différence entre l'aller et le retour - marche	112

Tableau 34 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la première période dans le domaine fréquentiel- marche	113
Tableau 35 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la deuxième période dans le domaine fréquentiel -marche.....	113
Tableau 36 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la première période dans le domaine temporel -marche	114
Tableau 37 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la deuxième période dans le domaine temporel -marche.....	114
Tableau 38 : Test LSD de la différence de contenu d'énergie entre les deux segments pour les deux périodes -marche	115
Tableau 39 : Distance de différence entre l'aller et le retour - course.....	115
Tableau 40 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la première période dans le domaine fréquentiel - course	116
Tableau 41 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la deuxième période dans le domaine fréquentiel -course	116
Tableau 42 : Comparaisons de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la première période dans le domaine temporel- course	117
Tableau 43 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la deuxième période dans le domaine temporel- course	117
Tableau 44 : Test LSD de la différence du contenu d'énergie entre les deux segments pour les deux périodes- course	117
Tableau 45 : Distance entre les allers et les retours pour le chevron - marche.....	118
Tableau 46 : Distance entre les allers et les retours pour le chevron - course	119
Tableau 47 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure sergé 3 - marche	121
Tableau 48 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure sergé 3 - course..	122
Tableau 49 : La capacité auditive des panélistes	127
Tableau 50 : Liste des 114 termes générés	129
Tableau 51 : Les termes non descriptifs supprimés	130
Tableau 52 : Liste des 27 termes descripteurs après le premier tri	131
Tableau 53 : Rapport de fréquence de citation des descripteurs à la fréquence de citation totale...	132
Tableau 54 : Rapport de la somme des intensités cumulées des descripteurs à l'intensité totale	133
Tableau 55 : Moyenne géométrique des descripteurs	134
Tableau 56 : Valeurs propres des facteurs	135
Tableau 57 : Corrélation entre les variables initiales et les 3 premières composantes principales..	138
Tableau 58 : Coefficient de corrélation des descripteurs dipolaires	139
Tableau 59 : Liste finale des descripteurs descriptifs	140
Tableau 60 : Indice de la répétabilité des panélistes - marche.....	146
Tableau 61 : Indice de discrimination des panélistes– marche	150
Tableau 62 : Indice de discrimination pour l'ensemble du panel pour 4 répétitions –marche.....	151
Tableau 63 : Indice de l'homogénéité pour l'ensemble du panel pour 4 répétitions	152
Tableau 64 : Références des descripteurs	154
Tableau 65 : Indice de l'homogénéité des panélistes –marche.....	155

Tableau 66 : Niveau sonore du bruit de frottement des armures à caractériser sensoriellement- marche.....	156
Tableau 67 : Résultats d'analyse de variance des données sensorielles des armures en coton écru	156
Tableau 68 : Test T Student pour comparer les profils sensoriels des armures-marche.....	161
Tableau 69 : Test T Student de comparaison les profils sensoriels du satin 4 (L3) et du satin 5 (L4)	161
Tableau 70 : Test T Student de comparaison les profils sensoriels du chevron(L1) et du satin 5(L4)	162
Tableau 71 : Test T Student pour une comparaison sensorielle entre sergé 3(L5) et sergé 4(L6) ..	164
Tableau 72 : Test de Duncan pour comparer les profils sensoriels des armures- marche	165
Tableau 73 : Indice de la répétabilité des panélistes - course	169
Tableau 74 : Indice discriminant par panéliste et par descripteur - course.....	170
Tableau 75 : Indice de discrimination pour l'ensemble du panel - course	170
Tableau 76 : Indice de l'homogénéité de groupe du panel - course	171
Tableau 77 : Niveau sonore du bruit de frottement des armures à analyser sensoriellement- course	171
Tableau 78 : Analyse de variance des données sensorielles - course	172
Tableau 79 : Test T Student pour comparer les profils sensoriels des armures- course.....	175
Tableau 80 : Test de Duncan - course.....	176
Tableau 81 : Test T Student pour comparer la perception auditive des bruits de frottement des armures pour les deux vitesses de frottement	180
Tableau 82 : Synthèse des résultats des armures en coton écru.....	182
Tableau 83 : Les paramètres mécaniques des étoffes testées.....	185
Tableau 84 : Coefficient de corrélation entre les paramètres mécaniques et le niveau sonore- marche	186
Tableau 85 : L'influence des paramètres de surface sur le niveau sonore du bruit de frottement...	187
Tableau 86 : Les valeurs transformées de la rugosité et du niveau sonore- marche.....	188
Tableau 87 : Coefficients de régression linéaire du modèle 1- marche	189
Tableau 88 : Récapitulatif du modèle 1 - marche	190
Tableau 89 : ANOVA pour le modèle 1- marche	190
Tableau 90 : Erreur obtenue par le modèle 1 - marche	190
Tableau 91 : Coefficient de corrélation entre les paramètres mécaniques et le niveau sonore - course	192
Tableau 92 : Fonctions de transforme de la rugosité et du niveau sonore - course	193
Tableau 93 : Fonctions de transforme de l'énergie de compression et du niveau sonore - course ..	194
Tableau 94 : Coefficient de corrélation entre les variables indépendantes transformées et la variable dépendante - course.....	194
Tableau 95 : Coefficient de régression du modèle 1- course	195
Tableau 96 : Récapitulatif du modèle 1- course	196
Tableau 97 : ANOVA du modèle 1 - course.....	196
Tableau 98 : Erreur obtenue par le modèle 1 - course	196
Tableau 99 : Coefficient de corrélation entre les variables du modèle 1- général.....	197

Tableau 100 : Récapitulatif du modèle 1- général	198
Tableau 101 : Coefficient de régression du modèle 1- général.....	198
Tableau 102 : Valeurs moyennes des descripteurs sensoriels discriminants - marche.....	200
Tableau 103 : Coefficient de corrélation entre les descripteurs sensoriels et le niveau sonore-marche.....	201
Tableau 104: Coefficient de régression du modèle 2 - marche.....	202
Tableau 105 : Récapitulatif du modèle 1 - marche	203
Tableau 106 : Valeurs moyennes des descripteurs sensoriels discriminants - course	204
Tableau 107 : Coefficient de corrélation entre les descripteurs sensoriels et le niveau sonore du bruit de frottement - course	205
Tableau 108 : Coefficient de régression du modèle 2- course	206
Tableau 109 : Récapitulatif du modèle 2 - course	206
Tableau 110 : Coefficient de corrélation des variables du modèle 2 - général.....	207
Tableau 111 : Coefficient de régression du modèle 2- général.....	207
Tableau 112 : Récapitulatif du modèle 2- général	208
Tableau 113 : Caractéristiques de l'étoffe de la veste testée	209
Tableau 114 : Mesures du patron de base de la veste	210
Tableau 115 : Niveau sonore global du bruit de frottement de la veste d'homme avec les deux types de manche	214
Tableau 116 : Test LSD du niveau sonore des bruits générés par les deux types de manche	214
Tableau 117 : Statistiques ANOVA pour un facteur produit.....	251
Tableau 118 : Statistiques ANOVA à deux facteurs (produit et sujet).....	252
Tableau 119 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure crêpe -marche ..	265
Tableau 120 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure crêpe -course....	266
Tableau 121 : Distance de référence entre les allers et les retours pour l'armure satin 4 - marche.	267
Tableau 122 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure satin 4 - course.	268
Tableau 123 : Distance différentielle entre les allers et les retours pour l'armure satin 5 -marche.	269
Tableau 124 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure satin 5 -course..	270
Tableau 125 : Distance de référence entre les allers et les retours pour l'armure sergé 4- marche.	271
Tableau 126 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure sergé 4 - course	272
Tableau 127 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure toile - marche...	273
Tableau 128 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure toile - course	274
Tableau 129 : Coefficient de corrélation des descripteurs descriptifs	279

GLOSSAIRE

Les termes concernant l'acoustique sont définis selon la norme NF S30-101 (vocabulaire d'acoustique - définition générale) et la norme NF S30-102 (vocabulaire d'acoustique - systèmes de transmission et de propagation du son et des vibrations). Ces termes sont soulignés.

- ¹**Acceptabilité** En termes sensoriel, état d'un objet reçu favorablement par un sujet en fonction de ses propriétés organoleptiques.
- ²**Adoucissant** Substance organique utilisée comme apprêt, ou en fin de lavage, pour rendre les textiles plus agréables au toucher.
- ³**Assurance qualité** L'ensemble des procédures qui ont pour objectif de garantir la qualité du produit. Son domaine concerne l'achat de la matière première, la réception, la fabrication, le conditionnement, etc.
- ⁴**Bruit blanc** Bruit dont l'intensité spectrale est indépendante de la fréquence. Il présente la même énergie pour toutes les fréquences
- ⁵**Bruit de fond** Ensemble de signaux parasites. Ensemble des sources sonores qui influent au point de mesure et se superpose au signal désiré.
- ⁶**Décibel (dB)** Le décibel est une échelle de mesure logarithmique en acoustique. C'est un terme sans dimension.
- ⁷**Densité** En textile, la densité des fils dans la structure correspond au nombre des fils de trame/chaîne par l'unité de longueur (cm).
- ⁸**Densité spectrale** Pour une fréquence déterminée, le rapport de l'énergie contenue dans une bande centrée sur cette fréquence à la largeur de la bande lorsque cette largeur tend vers zéro.
- ⁹**Duite** Fil de trame.
- ¹⁰**Echelle sémantique** Cette échelle consiste à faire l'évaluation en mettant en opposition deux descripteurs (doux/dur).
- ¹¹**Embuvage** La différence entre la longueur d'un fil de chaîne ou de trame extraite d'un tissu, et la longueur que le même fil occupait dans le tissu, exprimé en pourcentage par rapport à la longueur du fil dans le tissu

- ¹²**Filature** Ensemble des opérations de transformation des fibres textiles en fils.
- ¹³**Fluctuation strength** Permet de traduire les sensations de variation de l'intensité des sons, estimée en 'vacil'. 1 vacil est la fluctuation strength produite par 60 dB à 1kHz avec une amplitude modulée 100 % à 4 Hz.
- ¹⁴**Laissé** En textile, on parle de laissé lorsque le fil de trame passe au-dessus d'un fil de chaîne au point d'intersection
- ¹⁵**Leno** Une armure ouverte, dans laquelle des fils de chaîne sont torsadés ensemble par paires entre le fil de trame.
- ¹⁶**Loudness** Mesure de l'intensité sonore perçue par l'oreille, estimée en sonie.
- ¹⁷**Mercerisage** Traitement à la soude caustique des fils et des tissus de coton, maintenus sous tension, en vue d'obtenir un aspect brillant et soyeux et d'améliorer leur affinité tinctoriale et leurs propriétés mécaniques.
- ¹⁸**Octave** L'octave est l'intervalle entre deux fréquences telles que l'une est le double de l'autre. Il y a 3 tiers d'octave dans 1 octave, donc le rapport des fréquences limites du 1/3 d'octave est 2 à la puissance (1/3).
- ¹⁹**Pression instantanée** En acoustique, c'est la différence existante entre la pression pour un moment donné et la pression statique.
- ²⁰**Pression statique** En acoustique, c'est la pression existante en cas d'absence de toute vibration acoustique.
- ²¹**Pris** En textile, on parle de pris lorsque le fil de chaîne passe au-dessus d'un fil de trame au point d'intersection.
- ²²**Repliment** Si la fréquence d'échantillonnage (f_e) est inférieure à deux fois la fréquence maximale (f) du signal, les fréquences qui dépassent ($f_e/2$) se replient à l'intérieur de cet intervalle échantillonné et viennent se sommer (se recouvrent) à la partie du spectre de fréquence inférieur ($f > f_e$).
- ²³**Roughness** Permet de traduire les effets perceptifs associés à des sons modulés en amplitude ou en fréquence, estimée en 'asper'. 1 asper correspond à la roughness produite par une tonie de 60 dB à 1kHz avec une amplitude modulée 100 % à 70 Hz.
- ²⁴**Seuil sensoriel** Niveau d'intensité ou de concentration d'un stimulus, nécessaire pour déclencher un influx nerveux.

- ²⁵Sharpness** La sensation provoquée par la composante fréquentielle élevée du son, estimée en 'acum'. 1 acum correspond à une bande critique de 60 dB à la fréquence centrale de 1kHz.
- ²⁶Sonie** Intensité de la sensation sonore en rapport avec la pression acoustique. 1 sonie est l'intensité subjective d'un son de 1000 Hz à 40 dB.
- ²⁷Spectre** L'ensemble ordonné en fonction des fréquences, des amplitudes ou des phases relatives au composant sinusoïdal d'une vibration acoustique.
- ²⁸Stimulus sensoriel** Tout élément physique, chimique ou biologique capable de déclencher des phénomènes dans l'organisme, notamment des phénomènes nerveux.
- ²⁹Sujet** Personne qui participe à une épreuve d'évaluation sensorielle.
- ³⁰Taffetas** Armure simple équivalente de l'armure toile sans envers, d'aspect sec ou craquant quand on la froisse, utilisée dans l'ameublement et dans la confection des vêtements (jupe, robe, cravate, rideau).
- ³¹Woolen** Signifie essentiellement que les fibres individuelles de différentes longueurs vont dans de nombreuses directions différentes, se chevauchent les uns les autres avec une grande variété d'angles.
- ³²Worsted** Laine peignée, composée des fibres longues (un peu près de même longueur) parallèles les unes aux autres et se chevauchant seulement à l'extrémité.

INTRODUCTION GENERALE

Depuis plusieurs décennies, l'objectif des scientifiques est d'améliorer le comportement vibroacoustique et la qualité sonore des structures, en réduisant le niveau sonore global, grâce à la compréhension des paramètres physiques du bruit généré par le frottement. L'allure acoustique du bruit de frottement peut être un indicateur de l'état de surface étudiée. Depuis plusieurs années, la psychoacoustique s'est attachée à l'analyse physique des sources sonores ; ce qui permet de prendre en compte la perception et l'attente des consommateurs pour certaines applications. Cette nouvelle approche a conduit à des améliorations importantes au niveau de la qualité sonore des produits dans différents domaines industriels.

Dans le domaine textile, la première étude de qualité sonore a été menée en 1961 pour une caractérisation physique du bruit de frottement d'étoffes en laine [48]. Quelques études ont suivi et ont été relevées dans la littérature. Dans celles-ci, la caractérisation physique du signal sonore des étoffes textiles s'est faite aussi en terme sensorielle. Les études les plus récentes qui ont été menées avaient pour objet d'analyser le bruit des étoffes généré par le frottement de l'avant-bras sur le haut du tronc. Le frottement des étoffes, dans ces études, a été effectué en deux manières différentes : par un mouvement de translation [52] et par un mouvement de balancement [7]. Le mouvement de balancement, auquel nous nous sommes intéressés, a été reproduit par un appareillage qui a été spécifiquement développé au sein de notre laboratoire pour simuler le mouvement du bras lors d'activités sportives. Dans ces études, les conditions de génération du bruit telles que la vitesse et la surface de frottement ont été prises en compte pour deux types de mouvement : la marche et la course. Les paramètres physiques du son, qui ont été pris en compte pour traiter le signal sonore sont les paramètres classiques comme le niveau sonore global, la plage d'amplitude et la plage fréquentielle.

Dans les études relevées dans la littérature, la génération du bruit de frottement ne prend pas en compte la pression appliquée par l'avant-bras sur la zone de frottement (au-dessous de l'emmanchure). Dans le cadre de notre étude, ce paramètre a été pris en compte. Les échantillons textiles qui ont été testés sont des échantillons commerciaux fabriqués dans des conditions industrielles (étoffes tissées et tricotées) et ayant des propriétés de structure différentes (titre de fil, état de surface, etc.). La caractérisation sensorielle, dans les études menées, du bruit de frottement des étoffes textile a été réalisée grâce à des panélistes non entraînés.

Ce travail se positionne comme une continuation aux travaux réalisés antérieurement au sein du laboratoire.

L'objectif final de ce travail est de développer d'un vêtement furtif (veste d'homme) pour une application cynégétique ou sportive. Les étoffes testées sont des étoffes tissées en coton écru fabriquées dans des conditions identiques et qui présentent différentes armures, mais un même titre de fils et un même indice de saturation. La caractérisation acoustique qui sera faite permettra d'étudier l'influence de l'armure sur les propriétés sonores de l'étoffe. Elle sera réalisée grâce à de nouveaux paramètres physiques comme la bande passante du spectre sonore, l'amplitude du maximum et la fréquence correspondante qui permettront de déterminer le spectre sonore le plus perceptible et le plus homogène. Une nouvelle méthode 'la transformée en S' qui permet de comparer différents segments du signal sonore, sera appliquée et permettra d'avoir une analyse plus fine que les analyses classiques.

L'analyse descriptive quantitative est la méthode d'évaluation sensorielle objective qui sera utilisée dans ce travail pour discriminer et quantifier la différence de la perception auditive, par les oreilles humaines, pour le bruit généré par le frottement de ces étoffes. Dans ce travail, nous proposerons des modèles explicatifs qui expriment des relations entre certaines propriétés mécaniques des étoffes textiles et le niveau sonore global du bruit, ainsi que la relation entre le niveau sonore global du bruit et la sensation auditive provoquée.

Ce travail sera mené pour les signaux sonores enregistrés pour les deux vitesses de frottement : marche et course. Enfin, une veste avec deux types de manche sera confectionnée afin de comparer le bruit du frottement généré pour ces deux types de construction.

Ce manuscrit s'articule en trois parties:

La première partie de ce travail porte sur l'étude bibliographique qui se répartit en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présenterons des généralités sur les étoffes textiles ainsi que leurs propriétés mécaniques. Nous décrirons le phénomène de frottement des étoffes textiles et les paramètres qui influencent ce phénomène. Les études relevées dans la littérature concernant la génération et le traitement du bruit de frottement des étoffes textiles seront détaillées.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons des généralités sur le son (bruit) et nous identifierons les paramètres physiques du son. Nous détaillerons également les méthodes utilisées pour représenter et traiter le signal sonore. La méthode de la transformée en S fera l'objet d'un développement spécifique.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons le mécanisme de la perception auditive du son et la caractérisation de la réponse sensorielle. Nous comparerons les différentes méthodes d'analyse sensorielle et nous détaillerons le protocole de la méthode choisie dans ce travail, l'analyse descriptive quantitative. Nous expliquerons la méthode pour établir le modèle explicatif des relations entre les paramètres instrumentaux et les paramètres sensoriels ainsi que les tests statistiques qui seront utilisés.

La deuxième partie présente les essais expérimentaux menés qui seront détaillés en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous détaillerons les méthodes et les matériels développés et utilisés pour la génération et l'enregistrement du bruit de frottement des étoffes textiles, ainsi que les mesures des paramètres physiques choisis. Nous y comparerons les propriétés sonores (propriétés physiques) des bruits de différentes étoffes commerciales pour deux armures différentes : satin et toile. L'influence de l'armure sur les propriétés sonores des étoffes tissées en coton écru sera ensuite étudiée. La méthode de traitement du signal par la 'transformée en S' sera appliquée pour comparer l'énergie locale de différents segments des signaux sonores enregistrés. Ce traitement sera effectué pour les deux vitesses de frottement : la marche et la course.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons les méthodes et les matériels appliqués, dans le cadre de l'analyse sensorielle descriptive quantitative pour établir une liste descriptive adaptée au cas de l'étude. Dans ce contexte, les contrôles des performances des panélistes seront présentés et analysés et nous tracerons les profils sensoriels des armures en coton écru pour les deux vitesses de frottement. La perception auditive des bruits générés pour ces deux vitesses de frottement sera comparée.

Dans le troisième chapitre, nous établirons les modèles qui relient le niveau sonore global et certains paramètres mécaniques des étoffes, le coefficient de frottement et la rugosité ainsi que les paramètres de compression mesurés par la chaîne de mesure Kawabata Evaluation System.

Nous établirons aussi un modèle qui propose une relation entre le niveau sonore et certains descripteurs sensoriels. Les résultats obtenus seront comparés pour les deux vitesses étudiées.

La confection d'une veste d'homme, avec deux variantes de construction (deux types de manches, manches montées et manches raglantes), sera expliquée. L'analyse du bruit de frottement de cette veste sera effectuée en situation réelle, dans une chambre sourde, avec des volontaires.

Ce document s'achèvera par une troisième partie composée d'une conclusion générale et des perspectives envisageables à cette étude.

I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette partie se répartit en trois chapitres :

- *Chapitre 1 : généralités sur le textile*
- *Chapitre 2 : généralité sur le son et l'analyse de signaux sonores*
- *Chapitre 3 : perception auditive et analyse sensorielle*

CHAPITRE 1

Généralités sur le textile

1 INTRODUCTION

Les textiles peuvent être classés en deux groupes : les textiles traditionnels utilisés pour l'habillement qui se distinguent par leur confort et apparence. Les textiles techniques ayant des caractéristiques mécaniques, chimiques et physico-chimique spécifiques pour des applications techniques [1]. Dans les deux cas, traditionnel ou technique, le textile est constitué de deux éléments de base : la fibre et le fil.

2 LA FIBRE

Plusieurs types de fibres peuvent être utilisés. Elles sont classifiées en [2][3][4][5]:

- Fibres naturelles : composées des fibres animales (laine, soie,...) et des fibres végétales (coton, lin,...).
- Fibres artificielles : faites à base de cellulose (viscose), d'origine non cellulosique (caoutchouc) et d'origine inorganique (verre).
- Fibres synthétiques : obtenues à partir de la chimie du pétrole (polyamide, polyester, polyuréthane,...).

La fibre décrit un élément discontinu et se définit par sa longueur, son diamètre et sa flexibilité.

3 LE FIL

Le fil est un élément d'apparence continu. Il peut être obtenu à partir des fibres par la filature¹² (filé de fibres) ; le processus au cours duquel les fibres sont individualisées puis une torsion est imposée afin de donner les propriétés mécaniques du matériau. Le fil est caractérisé par son titre (masse en g de 1000 mètre de matière, l'unité est le Tex).

4 LES ETOFFES

Les étoffes sont des surfaces textiles obtenues à partir la matière textile (fibres ou fils) selon différents modes de fabrication (tissage, tricotage, non tissé) [6]. Les étoffes tissées se composent de fils de chaîne, sur toute la longueur de l'article de tissu, et de fils de trame, sur toute sa largeur. Les deux fils s'entrecroisent perpendiculairement pour représenter un motif appelé armure [7]. Les étoffes tricotées sont constituées de boucles, de mailles enterbouclée entre elles. Un tricot se compose de rangées horizontales et de colonnes verticales respectivement [8]. Les non-tissés sont des étoffes obtenues par liage mécanique, chimique, ou thermique de fibres textiles disposées en nappe ou voile orientées directement ou au hasard [9].

Les étoffes auxquelles nous nous sommes intéressées dans ce travail sont les étoffes tissées. Il est donc important de comprendre le principe de fabrication des tissus, l'opération de tissage.

4.1 LE TISSAGE

Le tissage est l'art d'entrecroiser deux séries de fils pour produire des étoffes tissées, ces deux séries de fils sont perpendiculaires entre elles. Le tissage s'effectue sur métier à tisser ; il consiste à passer un fil de trame dans l'espace formé par la séparation des fils de chaîne (foule) en deux nappes, l'une levée, l'autre baissée [10]. La Figure 1 présente le schéma de principe d'un métier à tisser.

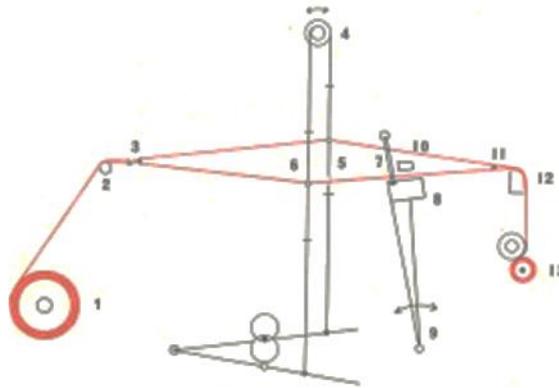


Figure 1 : Schéma de principe d'un métier à tisser [10]

- 1- Ensouple sur laquelle sont enroulés parallèlement les fils de chaîne.
- 2- Rouleau dit porte-fils.
- 3- Baquette d'envergure divisant les fils de chaîne en fils pairs et impairs.
- 4- Dispositif de formation de la foule (séparation de la chaîne en 2 nappes).
- 5- 6- Lames portant les lisses dans lesquelles passent les fils de chaîne.
- 7- Fils de chaîne passant dans les dents du peigne.
- 8- Battant, chemin de glissement de la navette.
- 9- Montant assurant le mouvement de va-et-vient du peigne pour assurer le passage de la navette et venir tasser la duite.
- 10- Navette où se trouve enroulé le fil de trame qui sera déposé dans la foule pour former la duite.
- 11- Duite déposée.
- 12- Poitrinière
- 13- Enroulement du tissu.

Deux mouvements importants sont donc à considérer : le mouvement de fils de chaîne et le mouvement de fils de trame. Le type de mouvement des fils dans la contexture donne la naissance à ce qu'on l'appelle l'armure.

4.1.1 L'armure

L'armure est un mode d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame dans la structure d'un tissu. Trois armures principales existent en textiles [6]:

- La toile : c'est l'armure la plus simple. Elle consiste à faire passer le fil de trame tour à tour au-dessus puis en dessous des fils de chaîne. C'est un tissu bloqué qui n'a ni endroit ni envers [1] (cf. Figure 2).
- Le sergé : consiste à faire passer le fil de trame au-dessus de deux fils de chaîne ou plus puis en dessous de un ou plusieurs fils de chaîne formant ainsi une diagonale sur la face du tissu, appelée 'côtes'. Ces côtes peuvent être orientées de gauche à droite (sergé droit) ou de droite à gauche (sergé gauche). Deux types de sergé peuvent être obtenus [11][13] : sergé à effet de chaîne si les pris²¹ sont dominants et sergé à effet de trame si les laissés¹⁴ sont dominants. Le sergé le plus simple est le sergé 3 dont le rapport en chaîne et en trame est de 3 duites⁹. Il est obtenu par le passage du fil de trame sous un fil de chaîne, puis sur deux fils de chaîne avec décalage d'un fil à chaque passage. D'autres armures de sergé existent selon le rapport des fils : sergé 4, sergé 5, ...etc. (cf. Figure 2).
- Le satin : consiste à déposer (flotter) le fil sur la surface du tissu. Le fil de chaîne est tissé de manière à reposer par-dessus la trame et vice-versa (la chaîne ou la trame est dominante). Différentes armures peuvent être tissées en satin : satin 4, satin 5, ...etc. L'armure en satin est lisse au toucher et revêt également un lustre visible à l'œil. L'endroit du tissu est brillant alors que l'envers est mat.

D'autres armures plus complexes peuvent être fabriquées telles que : le chevron (dérivé de sergé qui donne un effet de zigzag contrasté où la diagonale sur la surface est continue dans la même direction pour la première moitié de la répétition puis s'inverse pour la deuxième moitié) [12] et le crêpe, dérivé de toile ou d'autres armure en additionnant ou en enlevant des points de liage de manière à ce que le rapport ne forme aucune rangée ni aucun autre effet régulier, mais se compose plutôt au hasard [13].

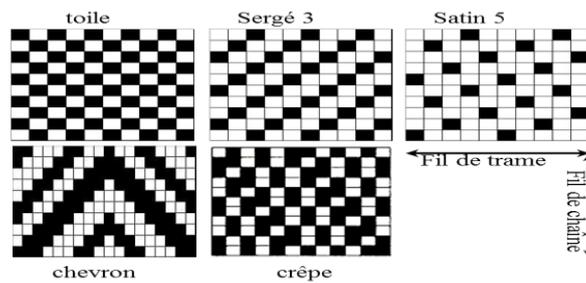


Figure 2 : La structure des armures [13]

Légende : les cases (carrés) noirs dans la Figure 2 indiquent que les fils de chaîne sont pris au-dessus des fils de trame, et les cases blanches désignent le passage des fils de trame en dessus.

La structure des étoffes tissées ont des propriétés mécaniques différentes selon leur armure [14].

4.2 PARAMETRES MECANQUES ET PHYSIQUES DES ETOFFES

Les paramètres mécaniques des étoffes peuvent être mesurés par de multiples dispositifs. Parmi ceux-ci, les dispositifs classiques tels que ceux utilisés pour mesurer la résistance à la traction [15], la résistance à la déchirure amorcée [16][17], la résistance à la déchirure au clou [18]. Ces dispositifs vont jusqu'à la rupture de l'étoffe ce qui ne représente pas la situation réelle lors du porter du vêtement. La chaîne de mesure Kawabata Evaluation System (KES) [19][20][21] nous permet d'identifier les propriétés mécaniques des étoffes sous des conditions similaires aux déformations réelles effectuées lors de porter des vêtements. La chaîne de mesure Kawabata permet de mesurer les propriétés mécaniques suivantes :

- Traction : comprend les paramètres concernant la linéarité de la courbe traction-allongement (LT), l'énergie d'extension pour 5 N/cm (WT), la résilience de traction (RT), et l'élongation pour 5 N/cm (EMT).
- Cisaillement : comprend les paramètres concernant la rigidité de cisaillement (G), l'hystérésis de cisaillement pour 0,5° (2HG), et l'hystérésis de cisaillement pour 5° (2HG5).
- Flexion : comprend la rigidité de flexion (B), et l'hystérésis du moment de flexion (2HB).
- Compression : comprend la linéarité de compression (LC), l'énergie de compression (WC), la résilience de compression (RC), et l'épaisseur sous 50 Pa (T_0).
- Frottement et rugosité : ce sont les paramètres concernant l'état de surface du matériau textile. Ils comprennent le coefficient de frottement (MIU), la moyenne quadratique de MIU (MMD), et la rugosité géométrique (SMD).

Les paramètres physiques des étoffes tels que, par exemple, la masse surfacique de l'étoffe (mg/cm^2) [22], l'épaisseur (mm), et l'embuage¹¹ [10] sont également des caractéristiques des étoffes. Nombre de fils par unité de longueur (desnité).

4.3 FROTTEMENT DES TEXTILES

Les propriétés de surface de matières textiles sont importantes pour tous les produits textiles. Lorsque l'on s'intéresse aux textiles pour l'habillement, ces propriétés peuvent affecter la préférence des consommateurs pour un vêtement ou un tissu [23]. L'état de surface d'un textile, donc le coefficient de friction, peut être influencé par le type de fibre, la géométrie du fil, la structure de l'étoffe et sa compressibilité [24]. Plusieurs types de frottement peuvent être distingués : fibre-fibre [25], fil-fil [26], étoffe-métal [27], et le frottement étoffe-étoffe. Dans notre travail, nous nous sommes intéressés au frottement étoffe-étoffe. Quand deux étoffes sont frottées l'une contre l'autre, les aspérités des deux surfaces textiles interagissent entre elles. Ces aspérités englobent les fibres, les fils et leur pilosité. Ce phénomène se produit au niveau micro et macro de la structure [28]. Plus la pilosité est importante, plus l'espace d'entrelacement entre les deux surfaces textiles est importante. Ainsi, des fils ayant un diamètre important présenteront une grande surface de frottement [29].

La loi d'Amontons de friction, est donnée par l'équation (1). Il a été établi qu'elle ne représente pas le frottement des matières textiles [30][31][32] :

$$F = \mu N \quad \text{Équation 1}$$

Elle est basée sur une relation linéaire entre la force de frottement (F) et la charge normale appliquée (N) avec μ , représentant le coefficient de friction. Le principe de frottement d'étoffe a été étudié notamment dans les travaux de thèse de Latroch [7]. La relation entre la force de frottement (F) et la charge normale appliquée (N) peut être représentée par la relation de Wilson [33] qui décrit une relation linéaire entre le logarithme de la charge appliquée et le logarithme de la force de frottement :

$$\log(F/A) = C + n \log(N/A) \quad \text{Équation 2}$$

Avec A : la surface apparente de contact (m^2), C : le paramètre de friction (Pa^{1-n}), n : l'indice de frottement (sans unité) qui dépend de la nature de la matière textile, des aspérités de surface et de la géométrie du textile. Wilson a trouvé que les deux paramètres C et n sont liés au nombre d'aspérités de la surface de contact qui varie en fonction de la charge appliquée par unité de surface (N/A). Le rapport entre C et n définit le facteur de frottement R ($R = C/n$).

Trois paramètres principaux peuvent influencer le frottement des étoffes :

- La vitesse de frottement : l'augmentation de la vitesse de frottement ne correspond pas à une augmentation très significative du coefficient de frottement dynamique [34]. D'autres études [28][35][36] ont montré que le coefficient de frottement augmente en fonction de la vitesse de frottement. L'augmentation de la vitesse de frottement peut provoquer un cisaillement

élevé au niveau des points de contact et par la suite plus de friction (le facteur R augmente) [34]. Nishimatsu et al [37] ont trouvé que le frottement des étoffes en coton diminue avec l'augmentation de la vitesse de frottement pour l'intervalle (0,5-5 mm/s) et que le coefficient de frottement dynamique va augmenter pour une vitesse de frottement plus importante. Ajayi et al [38] ont trouvé que la relation entre la vitesse de frottement et le coefficient de frottement des étoffes dépend de la géométrie d'étoffe.

- La charge appliquée : l'augmentation de la pression correspond à une augmentation du coefficient de frottement [39][31] car le nombre de point de contact entre les fils va augmenter [32][35]. Le nombre d'aspérités par unité de surface de frottement va augmenter [30][33], et par la suite l'adhésion entre les matériaux textiles mis en contact augmentera. L'effet de la pression appliquée est plus significatif pour des vitesses de frottement importantes. Une charge maximum avec une vitesse maximum ont un effet maximum sur le coefficient de frottement des étoffes [40].
- La surface de frottement : le frottement des textiles augmente avec l'augmentation de la surface de contact [41]. La rugosité de la surface de frottement est positivement corrélée avec le coefficient de frottement des étoffes tissées en coton et polyester selon l'étude de Suler et al [23].

D'autres paramètres peuvent influencer le coefficient de frottement des étoffes. Ajayi et al [42] ont étudié l'influence de la densité⁷ des fils de la structure de textile. Ils ont trouvé qu'un grand nombre de fils par l'unité de longueur produit une pilosité et une rigidité importante de structure et ainsi qu'un coefficient de frottement important. Thorndike et al [43] ont trouvé que le coefficient de frottement dans la direction des fils de trame est plus important que celui-ci dans la direction des fils de chaîne. Ainsi, ils ont trouvé que les fils flottants, réalisées dans la structure de l'étoffe, diminuent le coefficient de frottement. Selon leur étude, pour un seul test, une propriété de récupération importante, la capacité d'étoffe à retrouver sa forme initiale lorsqu'elle a été déformée par des contraintes externes, fait diminuer sensiblement le coefficient de frottement.

Le coefficient de frottement entre étoffes diminue avec des frottement répétés [32][42][44]. Pour expliquer ce résultat, il a été proposé que l'enchevêtrement initial, au niveau de la surface, et qui est responsable du frottement, va s'aligner dans la direction de la friction ce qui réduit le coefficient de frottement. Ces résultats et cette interprétation sont confirmés par Gupta et al [41] qui ont trouvé que le coefficient de frottement des textiles diminue avec l'augmentation du nombre de cycles de friction et que le coefficient de frottement est plus important dans la direction opposée au sens de frottement que celui mesuré dans le sens de frottement. Gupta et al [41] ont trouvé aussi que la déformation de l'étoffe est plus importante avec la pression appliquée. En effet, une étoffe

compressible a besoin de moins d'énergie de compression pour se déformer et la surface de frottement des étoffes augmente avec la compressibilité.

Le traitement de surface des étoffes influence considérablement le coefficient de frottement [45]. Par exemple, la mercerisation¹⁷ appliquée sur une étoffe en coton peut augmenter le retrait et l'ondulation des fils ce qui engendre une augmentation de coefficient de friction [46]. Le traitement par adoucissant² peut légèrement augmenter le coefficient de frottement des étoffes parce qu'il faut plus d'énergie de compression pour que l'étoffe soit déformée [41].

Lorsque deux étoffes sont mises en frottement l'une contre l'autre, les fibres en contact sont mises en vibrations. Ce sont ces vibrations qui sont à l'origine du son, que l'on appelle 'bruit de frottement' des étoffes. Ce bruit est l'un des facteurs qui peut affecter le confort sensoriel des vêtements [47]. La prise en compte de la perception sensorielle étant devenue une préoccupation croissante dans le domaine du textile, diverses études sur le bruit de frottement des textiles ont été menées afin de déterminer les caractéristiques acoustiques associées aux facteurs structurels de l'étoffe et la sensation auditive générée. Le paragraphe suivant présente les principaux travaux trouvés dans la littérature à ce sujet.

5 BRUIT DE FROTTEMENT DES TEXTILES

Les premiers travaux menés sur la génération et l'enregistrement du bruit de frottement de textile ont été réalisés en 1961 par Walter et al [48] qui ont utilisé un dispositif (cf. *annexe 1*) de mouvement rotatif pour frotter des étoffes et des fibres en laine. Ils ont trouvé que différentes matières textiles possèdent des propriétés acoustiques différentes dans les mêmes conditions d'expérience. Ils ont également mentionné que les propriétés des textiles peuvent être retrouvées à partir de leurs propriétés acoustiques. Dans un autre travail du même auteur, en 1962, [49], il a été établi que la pression acoustique du bruit de frottement est influencée par le traitement de surface de la matière textile : un traitement de surface par résine peut faire augmenter l'intensité du bruit de frottement, et l'épaisseur de surface augmente le niveau du bruit généré. Fujimoto [50] en 1986 a développé un appareil (cf. *annexe 1*) pour générer le bruit de frottement d'étoffes en polyester et le comparer avec le bruit généré par des étoffes en soie. Cet appareil, qui fait frotter les étoffes sur une poulie à courroie, a été aussi utilisé en 1993 par Fukuyama [51] pour analyser le bruit de frottement d'étoffes en polyester qui imitent le bruit des étoffes en soie naturelle. Ces études montrent que les spectres des bruits de frottement des étoffes en soie et en polyester sont similaires. En 2000, le groupe de Yi et Cho [52] a développé un autre dispositif appelé MAFN (Measuring Apparatus for Fabric Noise) (cf. *annexe 1*) pour générer le bruit de frottement des textiles avec un mouvement de translation des étoffes. Dans cette étude, le bruit de différentes étoffes commerciales (coton,

polyester, polyamide, laine, soie) a été analysé en utilisant les paramètres acoustiques suivants : la pression acoustique, la plage d'amplitude et la différence fréquentielle ; ces paramètres seront définis dans les chapitres suivants. Ces mêmes paramètres acoustiques ont aussi été utilisés en 2003 par Kim et al [53], qui ont comparé le bruit généré par le frottement d'étoffes tricotées dans la direction des fils de chaîne (colonne). En 2010, G.Cho et al [54] ont comparé la pression acoustique du bruit d'étoffes : tricotées, tissées, et imper-respirantes. Ils ont trouvé que les étoffes imper-respirantes sont plus bruyantes et ont une pression acoustique plus importante. Dans leur étude, ils ont aussi montré une corrélation positive entre le niveau sonore et la moyenne quadratique du coefficient de frottement (MMD) mesuré sur le système Kawabata Evaluation System. Plusieurs études ont été menées en utilisant le dispositif MAFN [55][56][57]. Récemment, en 2013, Cooper [28] a développé un autre dispositif (cf. *annexe 1*) qui permet de faire frotter une étoffe sur une autre avec une direction précise (dans la direction des fils de chaîne ou des fils de trame). L'étoffe frottante est fixée sur un traîneau ayant une vitesse contrôlée et déposée sur l'autre étoffe. Dans ses travaux de thèse, Cooper a indiqué qu'il est possible d'attribuer une signature acoustique à chaque étoffe, et que l'amplitude du niveau sonore augmente avec la vitesse de frottement et la rugosité de surface de la matière textile. En utilisant son dispositif avec plusieurs jeux d'étoffes, il a montré que le bruit des étoffes en coton est plus important que le bruit des étoffes en soie dans le cas de l'armure toile, alors que le bruit de l'armure sergé est plus important que le bruit de l'armure toile dans le cas de coton. On peut remarquer cependant que les étoffes comparées ont des titres de fils différents et des épaisseurs différentes. On peut noter aussi que ces différents appareils ne reproduisent pas le mouvement naturel qui provoque la génération de bruit de frottement d'étoffe en portant un vêtement.

Latroch [7], dans ses travaux de thèse, en 2013 au LPMT, a analysé le mouvement de l'avant-bras frottant sur le tronc d'un volontaire générant ainsi un bruit de frottement des étoffes. Cette analyse a été faite grâce à l'enregistrement vidéo de volontaires faisant du sport sur un tapis de course. L'analyse a été menée pour trois modes de mouvement : marche (2 km/h), jogging (7 km/h) et course (9 km/h). Dans ses travaux, l'auteur a déterminé la vitesse de frottement (vitesse du bras) et la surface de frottement correspondant à chaque mode de mouvement. La pression causée par l'avant-bras sur le tronc a été identifiée par Yosouf [58] grâce à un capteur de pression inséré au niveau de l'emmanchure. Latroch a également conçu un dispositif expérimental de simulation du mouvement de l'avant-bras pour l'étude du son généré par le frottement de l'étoffe sur elle-même. Le principe de ce dispositif est basé sur la mise en contact de deux échantillons textiles de même nature, le premier échantillon fixe est placé sur une plaque de silicone afin de simuler la peau humaine et le deuxième échantillon est fixé sur un support métallique mobile. Le deuxième échantillon va frotter l'échantillon de base avec un mouvement de balayage similaire au mouvement

de l'avant-bras. Ce mouvement va générer un son de frottement à l'intérieur d'une enceinte acoustique anéchoïque isolée. Un microphone, placé à l'intérieur de l'enceinte acoustique, va capter le bruit généré, le transmettre à un amplificateur puis à un enregistreur. Les conditions de génération du bruit des étoffes, par ce dispositif, sont similaires à celles de la situation réelle. Latroch a trouvé que la vitesse de frottement a une influence sur les niveaux de bruit pour les tissus en soie et en polyamide/polyuréthane, mais de façon moins significative sur les tissus en coton/élasthane. Une surface de frottement importante engendrera plus de bruit qu'une plus petite surface et cela quel que soit le type d'étoffe. L'auteur a également établi que la bande de fréquence du bruit de frottement est aussi liée à la nature de la matière première et qu'un mélange de matières premières influence le bruit généré. Une matière textile constituée d'un mélange de deux matières synthétiques présente un niveau sonore plus important qu'une matière textile constituée de deux matières naturelles, le bruit des étoffes en matière naturelle étant généralement plus faible.

Dans notre travail nous nous sommes basé sur la méthode développée par Latroch pour générer et enregistrer le bruit de frottement. Cette méthode sera détaillée dans la partie expérimentale.

6 CONCLUSION

La structure du textile est une source de bruit, ce bruit est généré par le frottement de la matière textile sur elle-même quelle qu'en soit sa nature. Les propriétés physiques et mécaniques des textiles sont des facteurs essentiels en termes de génération de bruit de frottement. Les paramètres de la surface textile tels que le coefficient de frottement et la rugosité ainsi que les paramètres de compression des textiles sont corrélés avec leurs propriétés sonores. La surface de frottement, la vitesse de frottement et la pression appliquée sont les conditions principales à prendre en compte dans le cadre la génération du bruit de frottement des étoffes.

Pour mieux comprendre et analyser le bruit de frottement des étoffes textiles, le chapitre suivant présentera les caractéristiques du son (bruit), les outils et les méthodes appliqués pour analyser un signal sonore et en extraire les informations pertinentes. Nous nous attacherons alors à mettre en évidence les paramètres physiques identifiant le son, ce qui nous permettra de caractériser et comparer le bruit de frottement généré par les étoffes textiles.

CHAPITRE 2

Généralités sur le son et l'analyse de signaux sonores

7 LE SON ET LE BRUIT

Le son et le bruit est le résultat de la variation de pression, ou oscillations, dans un milieu (air, eau, solide) généré par une surface vibrante. D'un point de vue acoustique, les bruits et les sons relèvent des mêmes phénomènes physiques, ayant par origine des vibrations mécaniques, et des fluctuations de la pression atmosphérique autour sa valeur moyenne [59]. La différenciation entre le son et le bruit est grandement subjective [60].

7.1 ASPECTS OBJECTIF ET SUBJECTIF

On peut définir un son, objectivement, comme un phénomène physique ayant pour origine la vibration d'un objet mettant en mouvement l'air environnant. Au cours de son mouvement vibratoire, les particules d'air voisines se compressent et se détendent en modifiant la pression atmosphérique statique et produisant une onde sonore [61]. Dans la norme NF S30-101[62] le son est défini objectivement comme *les vibrations acoustiques capables d'éveiller une sensation auditive*. Subjectivement, le son peut se définir comme la sensation perçue par notre mécanisme auditif [61][63].

Le bruit, objectivement, résulte des oscillations aléatoires de fréquence instables. Il n'y a pas de relation fixe entre les fréquences, et des fluctuations du spectre²⁷ moins ou plus importantes [64][61]. Dans la norme NF S30-101[62] cet aspect physique peut s'exprimer par *des vibrations acoustiques erratiques, intermittentes ou statistiquement aléatoires*. On peut dire que le bruit, est un son dont le spectre²⁷ contient toutes les fréquences entre la fréquence minimum et la fréquence maximum.

Subjectivement, le bruit est un phénomène sonore indésirable qui est à l'origine d'une sensation auditive désagréable ou inconfortable [63]. On peut dire que le son peut être considéré comme *cause* sous son aspect physique (vibration d'une source sonore) et comme *effet* sous son aspect subjectif de la sensibilité personnelle [61].

Puisque le son et le bruit ont à l'origine un mouvement oscillant, ils peuvent être décrits en termes de fréquence, qui est la grandeur la plus intéressante à utiliser comme base de tous les phénomènes vibratoires.

7.2 SON PUR ET SON COMPLEXE

Le son le plus simple est le son pur qui a pour origine une vibration sonore dont la pression ou l'amplitude varie d'une manière sinusoïdale en fonction du temps [65]. Le son se répète identiquement dans le temps et il est donc caractérisé par une période stable, dont l'inverse est la fréquence, qui renseigne sur le déroulement temporel de la variation [61].

Le son naturel pur est très rare, et le son le plus souvent est un son complexe [66]. Le son complexe est composé d'ondes périodiques non sinusoïdales. Le son complexe est une superposition d'un son pur de fréquence fondamentale f et ses multiples $2f, 3f, \dots$, dites harmoniques [65]. Les variations de la pression en fonction du temps sont beaucoup plus compliquées et elles ne peuvent pas être caractérisées par un seul paramètre. Les sons complexes peuvent être périodiques, ceci signifie que le motif de pression acoustique se répète identiquement dans le temps [67]. Dès que la variation de pression n'est plus périodique, les composants sont appelés 'partiels' et leur fréquence n'est plus un multiple entier de la fréquence fondamentale. Normalement, le rapport simple entre les fréquences, les harmoniques, provoque une sensation agréable comme celui d'un son musical. Par contre, les partiels sont responsables d'une sensation désagréable comme un son de cloche par exemple [68].

Quoi qu'il en soit, son pur ou complexe, le son peut être caractérisé par son intensité, sa hauteur et son timbre qui vont être définis dans le paragraphe suivant.

7.3 CARACTERISATION DU SON

7.3.1 Intensité du son

L'intensité d'un son est la quantité d'énergie propagée par unité de temps et par unité de surface (W/m^2)[65][69]. L'intensité acoustique de référence, qui correspond au seuil²⁴ d'audibilité est de $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$, tandis que l'intensité correspondant au seuil²⁴ de douleur est de $1 \text{ W}/\text{m}^2$ [70].

Puisque l'intensité sonore est proportionnelle au carré de la pression efficace, pour des raisons pratiques, les grandeurs physique les plus représentatives de l'énergie de l'onde acoustique sont la pression acoustique et le niveau sonore [71]. Les vibrations acoustiques dans l'air se traduisent en un point par les fluctuations rapide de la pression autour de la pression atmosphérique P_0 (pression statique²⁰). La pression acoustique efficace P_{eff} est la moyenne quadratique temporelle des pressions acoustiques instantanées¹⁹ $P(t)$ de ce point, calculée sur un intervalle de temps convenable [62]. Cette pression acoustique varie dans le temps, et elle peut s'exprimer par la formule suivante :

$$P_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t P^2(t) dt} \quad \text{Équation 3}$$

Le niveau sonore L_p d'un son (ou bruit) est un rapport logarithmique entre la pression acoustique efficace et sa valeur de référence. Le niveau sonore d'une vibration acoustique est donné par la formule suivante [72] :

$$L_p = 20 \log \frac{P_{\text{eff}}}{P_0} \quad \text{Équation 4}$$

Avec P_0 qui correspond au seuil²⁴ auditif, soit $20 \mu\text{Pa}$ [70]. Ce rapport logarithmique, exprimé en décibel⁶ (dB), permet de réduire les ordres de grandeur entre la valeur maximum audible de la pression acoustique (20 Pa) et le seuil²⁴ auditif. Ceci peut expliquer la variation de la sensation

auditive comme le logarithme décimal de la pression acoustique [69]. Le niveau sonore peut être considéré comme un indicateur qui distingue les sources sonores d'un point de vue acoustique, par exemple une source plus bruyante d'une l'autre. Dans la Figure 3, nous pouvons comparer les niveaux sonores de différentes sources comprises entre le seuil d'audition et le seuil de douleur [73].

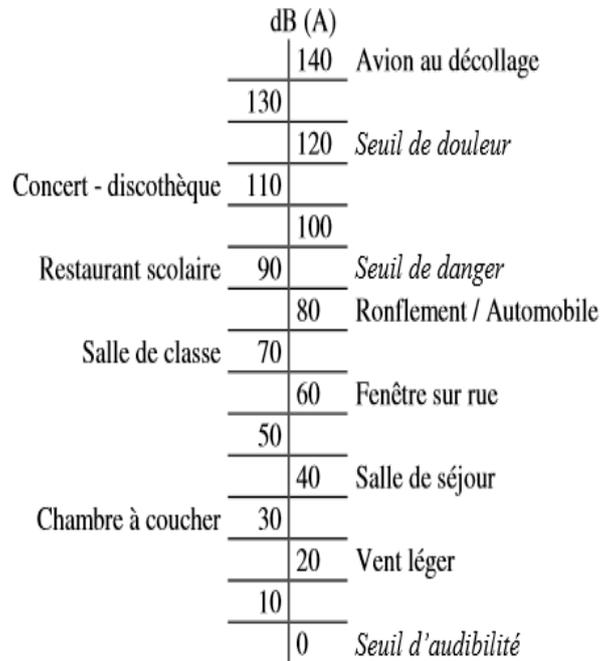


Figure 3 : Echelle du bruit des sources sonores selon la sensibilité de l'oreille humaine [74]

Il faut toujours faire la distinction entre l'intensité du son qui est une grandeur physique liée à la source sonore, et l'intensité perçue (subjective) qui est liée au sujet et qui lui fait juger si un son est faible ou fort.

7.3.2 Hauteur du son

Différentes définitions peuvent être données quant à la hauteur du son sous son aspect objectif. Cependant, il s'agit toujours d'estimer l'énergie, comme pour l'intensité. La hauteur physique du son s'exprime par sa fréquence. La hauteur du son peut être les données fréquentielles pour lesquelles un certain niveau d'intensité se révèle, ou la fréquence pour laquelle on peut trouver le maximum du niveau sonore [68]. La fréquence présente le nombre de période par unité de temps [62], c'est-à-dire le nombre de fois où la variation de pression se reproduit identique à elle-même en une seconde. La fréquence est mesurée en Hz. La hauteur du son, sous l'aspect subjectif est la qualité de sensation qui nous fait ressentir qu'un son est grave ou aigu [65].

7.3.3 Timbre du son

Le timbre de son nous permet de faire la distinction entre deux sons de même hauteur et de même intensité, par exemple distinguer deux voix humaines. Ce paramètre est assez compliqué à représenter et il faut y ajouter plusieurs mesures qui rendent compte de la manière dont un son s'établit, ainsi qu'une mesure liée à la hauteur ou à l'intensité [68]. C'est une qualité subjective multidimensionnelle [65]. Pour cette raison, ce paramètre ne sera pas pris en compte lors de l'analyse du signal sonore des étoffes.

Le son ou le bruit transporte des informations à partir de la source sonore. Ces informations se traduisent sous la forme d'une grandeur mesurable, fonction du temps, dite signal. On utilise la notion de signal comme présentation des informations émises par le stimulus²⁸.

8 ANALYSE DU SIGNAL SONORE

Le signal sonore peut se représenter dans le domaine temporel comme la variation de l'amplitude en fonction du temps [75], tandis que la représentation dans le domaine fréquentiel donne les fréquences continues et leur intensité respective [62]. Il est important de se familiariser avec les deux représentations du signal acoustique : soit la pression acoustique en fonction du temps, soit le niveau sonore en fonction de la fréquence (spectre²⁷).

8.1 ANALYSE SPECTRALE

Le spectre sonore audible, d'un point de vue mathématique, contient un nombre infini de fréquence. La décomposition du signal pour chaque fréquence est complexe. Pour y parvenir, le spectre se décompose pour chaque gamme de fréquences. Le nombre de fréquences dans un bruit étant très important, le niveau sonore est généralement mesuré pour des bandes étroites [69]. Le principe de l'analyse spectrale est de filtrer le signal sur des bandes de fréquence, dite bandes passantes Δf , plus ou moins larges afin de déduire le contenu fréquentiel du spectre. Plus la bande passante est petite plus l'analyse est fine [76].

On peut distinguer deux types d'analyse spectrale [61] :

- L'analyse avec Δf constant : la largeur de bande a toujours la même valeur et la densité spectrale⁸ est constante. Ceci veut dire que l'énergie a le même niveau sur toutes les fréquences de la gamme audible, ce qui correspond à un spectre de bruit blanc⁴ [62]. Ce type d'analyse se rapproche de la notion de spectre du point de vue mathématique.
- L'analyse avec $\Delta f / f_m$ constant : c'est l'analyse la plus courante en acoustique, car l'intervalle est l'octave¹⁸ ou le tiers d'octave. L'énergie de bande fréquentielle augmente avec l'augmentation de sa largeur. Le spectre²⁷ peut se diviser en bandes larges de fréquence

‘octave¹⁸’, et le niveau sonore global de la bande est la somme des pressions acoustiques de tous les sons que l’on transforme en décibel [60]. L’analyse fréquentielle est souvent réalisée en utilisant une gamme de fréquence dite tiers d’octave pour une analyse spectrale plus fine et en même temps pour prendre en compte la sensibilité de l’oreille humaine [77].

Lorsqu’on parle d’intervalle fréquentiel, ceci veut dire que le spectre sonore n’est pas pris en sa totalité, et par la suite le signal est échantillonné. La question qui se pose alors est la suivante : comment choisir l’échantillon idéal du signal ?

8.1.1 Echantillonnage

L’échantillonnage permet de réduire la dimension du signal. Si on veut qu’un signal échantillonné représente fidèlement tous les niveaux d’oscillation du signal continu d’origine, et que son spectre couvre toutes les fréquences continues, il faut choisir une période d’échantillonnage suffisamment petite, ou une fréquence d’échantillonnage suffisamment grande [61]. La résolution fréquentielle Δf et la période d’échantillonnage t_e sont inversement liées comme cela est présenté dans la formule de l’équation 5 :

$$\Delta f = \frac{1}{t_e} \quad \text{Équation 5}$$

Pour pouvoir reconstruire un signal en son intégralité à partir d’un signal échantillonné, la fréquence d’échantillonnage doit être supérieure à deux fois la fréquence maximale ou deux fois la valeur de la bande passante du signal à échantillonner (théorème de Shannon) [78].

Soit $x(t)$ un signal avec une bande passante limitée, c’est-à-dire que son spectre²⁷ est limité à des fréquences inférieures à une fréquence f_L :

$$X(f) = 0 \text{ pour } |f| > f_L \quad \text{Équation 6}$$

Il faudra une fréquence d’échantillonnage $f_e > 2f_L$ pour représenter correctement le signal $x(t)$ et son spectre après échantillonnage. Sinon, on a un risque de repliement²² du spectre²⁷ et on ne pourra pas reconstruire le signal d’origine [16].

8.1.2 Segmentation du signal

Le but de la segmentation du signal est de diviser le signal en plusieurs segments ayant les mêmes caractéristiques statistiques telles que l’amplitude et la fréquence [79]. La segmentation du signal est habituellement appliquée comme une étape de prétraitement pour analyser les signaux, surtout les signaux non stationnaires [80][81]. La segmentation du signal permet de mieux comprendre la totalité du spectre sonore en analysant et comparant le contenu temporel et fréquentiel pour les différents segments, et par la suite faciliter la détection de la différence de ces composantes spectrales en termes d’énergie. La plupart des traitements des signaux cardiaques, par exemple,

dépendent des résultats de la segmentation [82][83]. La segmentation du signal peut se faire selon deux méthodes : soit la segmentation constante, soit la segmentation adaptative. Dans la segmentation constante le signal se divise en segments fixes. Bien que ce type de segmentation soit facile à mettre en œuvre, cette méthode a une faible fiabilité, et la segmentation adaptative devient plus efficace dans les mesures où la durée des segments de signal n'est généralement pas égale [84]. La détection des extrémités des segments a été étudiée dans les travaux de Liang et al [85] et Ari et al [86]. Ces extrémités peuvent être identifiées par les points d'intersection d'un seuil choisi et de l'enveloppe d'amplitude [87]. Le choix du seuil est déterminé par le seuillage global de l'enveloppe de l'amplitude, qui est le seuillage le plus simple [88]. Malgré la simplicité de cette méthode, elle ne tient pas compte du comportement local du signal et la position des extrémités est très sensible au niveau du seuil choisi [87]. Dans la Figure 4, nous trouvons que le seuil peut être choisi entre 10 et 70% de l'amplitude maximum de l'enveloppe pour un signal cardiaque par exemple [88]. Un seuil à 30% de l'amplitude maximum de l'enveloppe a été déterminé pour donner de bon résultats de l'extraction de l'enveloppe d'un signal cardiaque par exemple [89] .

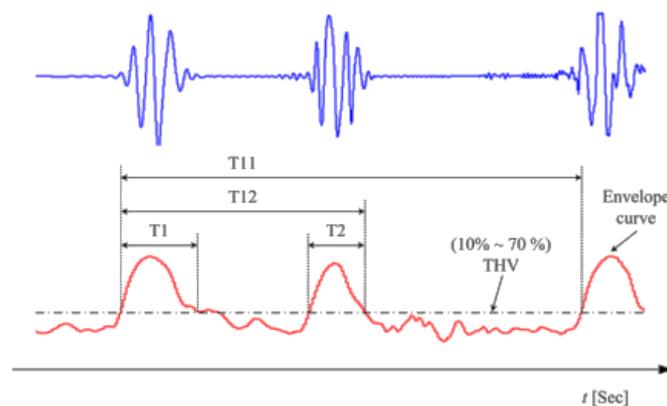


Figure 4 : Seuil choisi pour segmenter le signal [88]

Pour décomposer un signal continu, une transformation de l'information dans le domaine fréquentiel est nécessaire. La technique la plus courante est la transformée de Fourier.

8.1.3 Transformée de Fourier

La transformée de Fourier est l'un des outils les plus puissants et les plus classiques d'analyse du signal [90]. Cette approche est applicable à une grande variété de domaines comme l'analyse spectrale, le filtrage numérique, l'acoustique, etc...[90] [27]. La transformée de Fourier représente un phénomène temporel dans le domaine fréquentiel. La plupart du temps, le domaine fréquentiel montre certaines caractéristiques du signal qui n'étaient pas visibles dans le domaine temporel [91]. En appliquant la transformée de Fourier, la série du temps elle-même (signal dans le domaine temporel) reste inchangée et garde les mêmes dimensions dans son espace vectoriel mais, la fonction de base dans le domaine temporel est modifiée pour une fonction de base sinusoïdales dans

le domaine des fréquences [92]. On peut alors écrire la fonction pour une série temporelle de période T comme une somme de sinus (ou de cosinus) [93] :

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(2\pi t/T) + A_2 \sin(2\pi t/2T) + \dots + A_n \sin(2\pi t/nT) \quad \text{Équation 7}$$

Avec A_i : le coefficient de série de Fourier à la fréquence $f_i = 1/iT$. Les coefficients représentent le niveau énergétique de chacune des fréquences élémentaires.

L'analyse FFT (Fast Fourier Transform) montre ainsi des périodicités du signal et aide à calculer le contenu d'énergie pour chacune des fréquences. La décomposition de Fourier fournit également la phase relative à chaque composant, c'est-à-dire son décalage temporel par rapport à la fondamentale [65].

Le spectre fréquentiel $H(f)$ d'une série temporelle $h(t)$ par l'analyse de Fourier est donné par la formule suivante [94]:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad \text{Équation 8}$$

L'une des raisons pour lesquelles la transformation de Fourier est omniprésente dans l'analyse de signal, est que les fonctions de base sinusoïdales sont la solution aux équations mathématiques décrivant une petite perturbation d'un système physique à un équilibre stable, et qu'elle fournit donc un cadre approprié pour l'étude de ces phénomènes [91]. La transformée de Fourier est limitée par le fait que, bien qu'elle puisse déterminer les composantes spectrales (fréquentielles) d'une série temporelle, il manque de l'information sur le moment où ces composants ont été produits [95]. La transformée de Fourier est une méthode très efficace pour analyser les signaux dont les caractéristiques concernant l'amplitude et la fréquence restent inchangées dans le temps, les signaux stationnaires. Cependant, un signal réel est un signal non-stationnaire [81] dont les caractéristiques changent avec le temps, ce qui rend la transformée de Fourier non appropriée pour décrire ce type de signal [96][97]. Deux séries temporelles très différentes, peuvent avoir un spectre d'amplitude identique en appliquant la FFT sans indication le temps où les différentes fréquences existent. Dans la Figure 5, nous trouvons deux séries temporelles très différentes, l'une avec une fréquence qui augmente avec le temps (série a), et l'autre avec une fréquence qui diminue avec le temps (série b), le spectre²⁷ d'amplitude obtenu par FFT est identique et ne montre aucune différence entre ces deux phénomènes [92].

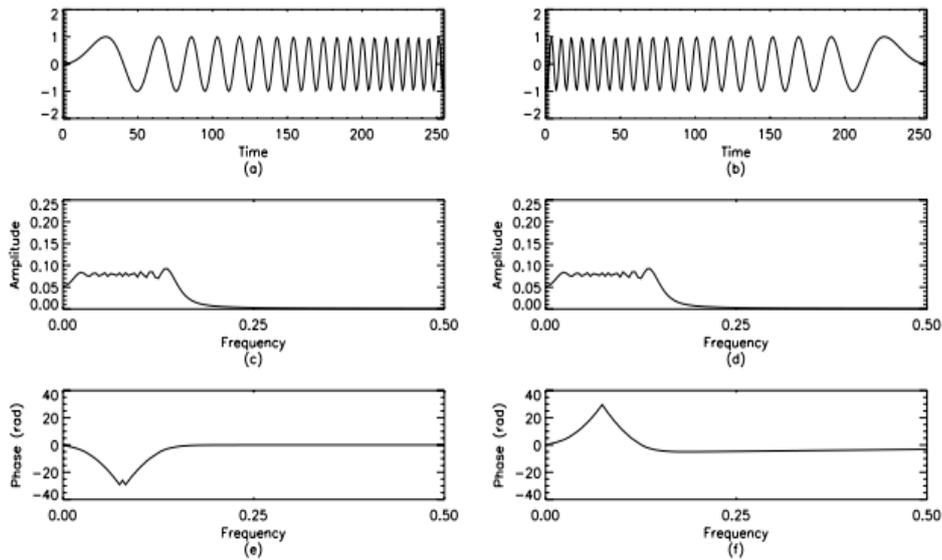


Figure 5 : Spectre d'amplitude obtenu par FFT pour deux séries temporelle différentes [92]

Les informations de temps locales sont cachées dans la valeur de la phase du spectre²⁷, mais ces informations ne sont pas facilement accessibles. La transformée de Fourier peut être vue comme une moyenne temporelle du spectre.

La solution à l'inconvénient spécifique à la FFT est la représentation du signal dans le domaine temps-fréquence.

8.1.4 Transformée temps-fréquence

On peut distinguer deux catégories principales de transformée temps-fréquence : linéaire et bilinéaire [87]. Dans la transformation linéaire, la représentation temps-fréquence globale peut se décrire comme la somme des représentations des composants du signal [75], alors que la transformée bilinéaire présente une concentration d'énergie élevée par comparaison avec la transformée linéaire [98]. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la première catégorie, dite transformation linéaire.

La Transformée de Fourier à Court Terme (TFCT) est l'une des premières méthodes utilisées dans la transformation temps-fréquence du signal [91]. Cette approche introduit une fenêtre glissante dans l'intégrale de Fourier pour obtenir une meilleure estimation des distributions temporelles de chaque composante fréquentielle. Cette amélioration est obtenue en déterminant la résolution fréquentielle en raison de la largeur de la fenêtre [96][99]. La TFCT peut se présenter dans la formule suivante :

$$H(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)g(t - \tau)e^{-i2\pi ft} dt \quad \text{Équation 9}$$

Avec τ le temps de localisation du spectre, et f la fréquence de Fourier. Le signal présenté dans la fenêtre glissante $g(t-\tau)$ est considéré comme un signal stationnaire, ce qui crée un problème lié à la résolution temps-fréquence, car la fenêtre glissante est une fonction du temps seulement et elle ne prend pas en compte la distribution fréquentielle. La résolution dépend de la largeur de la fenêtre : une fenêtre étroite présente une bonne résolution en temps et une fenêtre large présente une bonne résolution en fréquence. Ceci entraîne une mono-résolution. Les basses et hautes fréquences ont la même résolution comme cela apparaît dans la Figure 6. La limitation de la TFCT avec les signaux non stationnaires est résolue par l'analyse multi-résolution (Figure 6) comme la transformation par ondelettes continues et la transformée en S (transformée de Stokwell).

La Transformée par Ondelettes Continues (TOC) conduit à décomposer un signal en bandes de fréquences. La TOC peut se définir comme une série de corrélation avec une fonction d'ondelette mère [100][95]. La transformée par ondelettes continues est définie dans la formule suivante :

$$W(\tau, d) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) w(t - \tau, d) dt \quad \text{Équation 10}$$

Avec d la largeur de l'ondelette $w(t, d)$, dite ondelette mère. La difficulté d'interpréter l'échelle temporelle obtenue par la transformée par ondelettes continues, et l'absence d'information de phase [98] conduisent à utiliser la deuxième méthode, la transformée en S, à laquelle nous nous sommes intéressés pour analyser le bruit de frottement des textiles.

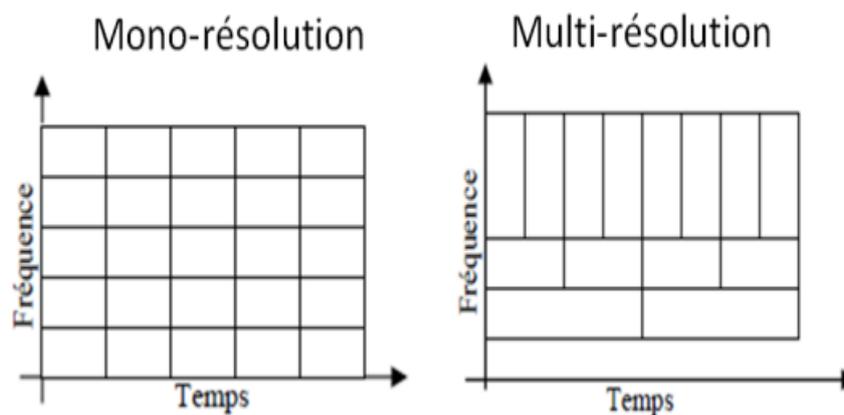


Figure 6 : Mono-résolution avec TFCT, et multi-résolution avec TOC et transformée en S[87]

8.1.4.1 Transformée en S

La transformée en S peut être considérée comme une étape intermédiaire entre la transformée de Fourier à court terme et la transformée par ondelettes continues [101][102][103]. La transformée en S a été proposée par Stokwell et al [104]. Cette technique d'analyse spectrale présente une grande flexibilité et pourra être utilisée dans le traitement des signaux non stationnaires. Elle a trouvé son

application dans plusieurs domaines : biomédical [105], géophysique [106], traitement des données [107].

La transformée en S peut être considérée comme une extension de la transformée de Fourier à court terme en remplaçant la fenêtre glissante par une fenêtre mobile et évolutive, une fenêtre gaussienne normalisée. La fenêtre gaussienne peut combiner le domaine temporel et fréquentiel en diminuant l'effet quadratique temps-fréquence [108]. Cette fenêtre se dilate et se translate dans le temps, et elle est définie par la formule suivante :

$$g(t, \infty) = \frac{1}{\infty\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\infty^2}} \quad \text{Équation 11}$$

La largeur de la fenêtre gaussienne (∞) a été identifiée en fonction de la fréquence :

$$\infty(f) = \frac{1}{f} \quad \text{Équation 12}$$

Et par la suite, la nouvelle fonction gaussienne s'écrit :

$$g(t, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}} \quad \text{Équation 13}$$

En remplaçant la fenêtre gaussienne $g(t, f)$ dans la formule de la TFCT (équation 9), on obtient la transformée en S qui peut s'écrire par la formule suivante [102] :

$$S(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}} e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad \text{Équation 14}$$

La transformée en S peut aussi se définir comme une transformation des ondelettes continues avec une ondelette mère spécifique multipliée par le facteur de phase [91][91][92][93] :

$$S(t, f) = e^{i2\pi f t} W(\tau, d) \quad \text{Équation 15}$$

L'ondelette mère se définit alors comme :

$$w(t, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}} e^{-i2\pi f t} \quad \text{Équation 16}$$

La transformée en S sépare l'ondelette mère en deux parties, l'enveloppe lentement variable (la fonction gaussienne) qui localise dans le temps et l'oscillation exponentielle (la fonction sinusoïdale) $e^{-i2\pi f t}$ qui localise la fréquence. C'est la localisation dans le temps (fonction gaussienne) qui se translate, alors que l'oscillation exponentielle reste stationnaire et par la suite la transformée en S présente une phase référencée à l'origine de temps (temps = 0) qui est en accord pour la phase de la transformée de Fourier, tandis que la phase en TOC est relative au centre d'ondelette, l'ondelette translate le point de la phase référencée [92][91].

La fonction de localisation d'unité de surface (la gaussienne) conserve la réponse en amplitude de la transformée en S, et s'assure que la réponse en amplitude est invariante en fréquence. De la même façon que la phase de la transformée en S a la même signification que la phase de la transformée de Fourier, l'amplitude de la transformée en S a la même signification que l'amplitude de la transformée de Fourier. Il convient de remarquer que la transformée par ondelettes continues réduit les composantes de fréquence plus élevées [109][92] [104].

Grâce aux performances de la transformée en S, on peut extraire le signal directement : l'amplitude, la fréquence et la phase peuvent être déterminés à n'importe quel moment [110][111][112].

La transformée en S d'un signal est présentée sous la forme d'une matrice de données. Pour extraire les données les plus pertinentes qui nous permettront de discriminer les différentes caractéristiques locales du signal analysé, cette matrice va subir une décomposition pour extraire ses valeurs singulières [87].

8.1.4.2 Décomposition en Valeurs Singulières (DVS)

La décomposition en valeurs singulières peut être vue comme un procédé de réduction de données. Il est possible de trouver la meilleure approximation des points de données de l'origine en utilisant moins de dimensions [113]. Ainsi, la DVS nous permet d'identifier où le plus de variation de données existe entre les segments du signal. Elle élimine les variables corrélées qui représentent la redondance dans les données et ainsi il ne reste que les vraies variations significatives le long du signal qui nous intéressent [114]. Dans le domaine temps-fréquence, plusieurs méthodes de DVS peuvent être utilisées pour extraire les informations (les variations) les plus importantes du signal [115]. La méthode à laquelle nous nous sommes intéressés est l'extraction des valeurs singulières de la matrice temps-fréquence transformée en S. Cette méthode est très utilisée pour discriminer et classifier les signaux non-stationnaires, par exemple les signaux cardiaques [116][117][87]. La technique vise à rapprocher le domaine temps-fréquence à travers un certain nombre de rectangles, dits Vecteurs Singuliers (VS). Dans le domaine temps-fréquence, la zone avec une densité d'énergie uniforme est représentée par un rectangle. La caractérisation du signal se fait en utilisant la fonction de densité de probabilité des deux premiers Vecteurs Singuliers (VS) [116].

Si la matrice S ($m \times n$) représente la transformée en S d'un signal dans le domaine temps-fréquence, la décomposition en valeurs singulières de cette matrice est donnée dans la formule suivante :

$$S = U\Sigma V^T \quad \text{Équation 17}$$

U ($m \times m$), V ($n \times n$) sont des matrices orthonormées et elles sont mutuellement orthogonales [118].

Σ ($m \times n$) matrice diagonale avec les valeurs singulières ($\sigma_{ij} = 0$ si $i \neq j$ et $\sigma_{11} \geq \sigma_{22} \geq \dots \geq 0$), les valeurs singulières sont les racines carrées des valeurs propres des Vecteurs Singuliers des matrices U, V [113].

Les colonnes des matrices orthonormées U et V sont nommés Vecteurs Singuliers (VS). Les Vecteurs Singuliers U_i représentent le domaine fréquentiel (gauche), et les Vecteurs Singuliers V_i représentent le domaine temporel (droite) [119]. En outre, les Vecteurs Singuliers liés aux valeurs singulières les plus importantes contiennent les informations les plus pertinentes et les plus importantes [120]. Puisque les vecteurs singuliers sont orthonormés, leurs éléments carrés peuvent être traités comme la fonction de densité de probabilité [119]. La fonction de densité de probabilité peut ensuite être utilisée pour calculer la fonction de distribution de probabilité.

La fonction de distribution de probabilité liée au premier Vecteur Singulier (première colonne U_1) de la matrice U , F_{U_1} , est donnée par la formule suivante [116]:

$$F_{U_1} = \{u_{11}^2, u_{12}^2, \dots, u_{1m}^2\} \quad \text{Équation 18}$$

Avec U_{1i} représente l' $i^{\text{ème}}$ élément d' U_1 avec $\sum_{i=1}^m U_{1i}^2 = 1$ Équation 19

Pour réduire le contenu de données dans les matrices des vecteurs singuliers, l'histogramme liée à chaque fonction de distribution de probabilité est calculé dans les domaines temps et fréquence. Les valeurs de l'histogramme nous aideront à détecter la vraie différence entre les segments du signal.

Dans la Figure 7 [116], un exemple de la fonction de distribution de probabilité extraite du premier vecteur singulier d'un signal cardiaque dans le domaine temporel et fréquentiel, vecteur droit et gauche respectivement, et leur histogramme est présenté.

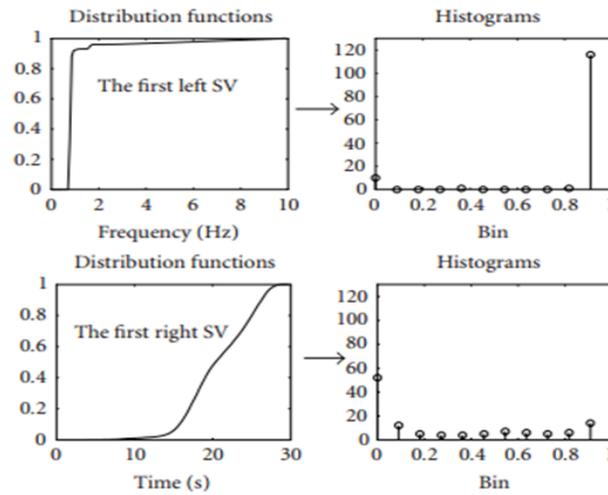


Figure 7 : Fonction de distribution et l’histogramme du premier vecteur singulier, gauche et droite, d’un signal cardiaque [116]

9 INDICATEURS DE BRUIT

Les indicateurs, descripteurs de bruit peuvent se répartir en deux groupes :

- Les indicateurs énergétiques comme le niveau de pression acoustique équivalent qui est le niveau de pression acoustique d’un bruit stable et donne la même énergie acoustique d’un bruit qui varie dans le temps [121].
- Les indicateurs événementiels qui caractérisent un événement sonore et prennent en compte la gêne due à de larges fluctuations du bruit dans le temps. Ce type d’indicateurs, dit indicateurs psycho-acoustiques auquel nous nous sommes intéressés dans ce travail, nous permettra d’interpréter le spectre de fréquence de la source sonore (étouffe) en terme de gêne. Le niveau efficace de bruit perçu est un indicateur qui nous permet de tracer le spectre sur une durée de temps (bande passante) pour laquelle le niveau de bruit se situe au-dessous du niveau maximum moins 10 dB ($L_{\max} - 10$ dB) comme cela apparaît dans la Figure 8 [69]. Cette bande passante correspond à la bande passante d’un haut-parleur qui a été obtenue par les deux points d’intersection entre la droite horizontale située à -10 dB du maximum de la courbe et la courbe elle-même [122]. La Figure 8 nous montre un spectre fréquentiel pour lequel la bande passante assure un niveau sonore égale au maximum à moins 10 avec moins de fluctuations. En outre, l’augmentation de la pression acoustique de 10 dB indique que l’intensité sonore perçue par l’oreille est doublée [67]. Ceci, rend compte de l’importance physique et physiologique d’utiliser cet indicateur pour décrire le bruit.

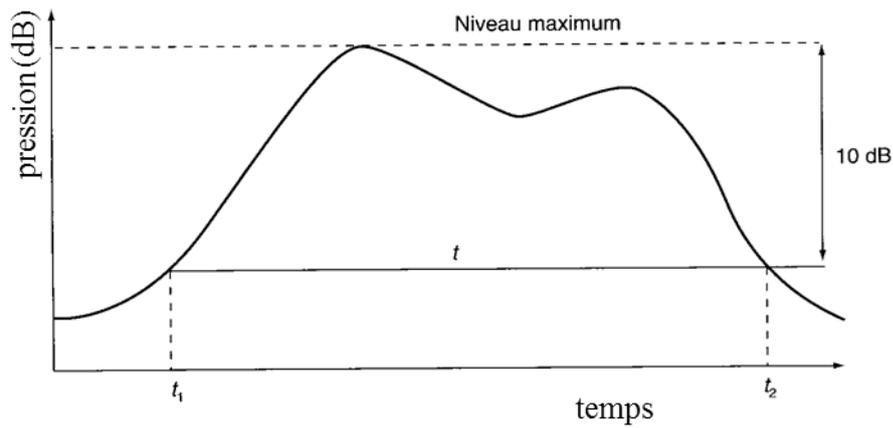


Figure 8 : Niveau efficace de bruit perçu au maximum - 10 dB [69]

10 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons défini les caractéristiques physiques du son : l'intensité, la hauteur et le timbre. Nous avons également abordé les outils de traitement du signal sonore tels que FFT, la représentation du signal dans un domaine fréquentiel, qui est un outil classique adéquat pour traiter les données d'un signal stationnaire mais peu adapté pour les signaux non stationnaires et la transformée en S, nouvelle méthode proposée pour le traitement du signal sonore des étoffes textiles, qui offre l'avantage de présenter le signal non stationnaire dans le domaine temps-fréquence. La décomposition en valeurs singulières, permet d'extraire les informations pertinentes du signal et de comparer le contenu spectral de différents segments. La bande passante au niveau sonore moins de 10 dB du maximum d'amplitude du spectre est un indicateur psycho-acoustique qui permet de juger la gêne du bruit.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons le mécanisme de la perception du son par le système auditif, ainsi que les méthodes d'analyse sensorielle utilisées pour l'évaluation des propriétés sensorielles des objets, puis enfin les corrélations entre les propriétés sensorielles et les mesures instrumentales.

CHAPITRE 3

Perception auditive et analyse sensorielle

11 SENSATION ET PERCEPTION

La définition de ces deux termes a fait débat pendant des siècles. A la fin du 17^{ème} siècle, la sensation se définit comme l'impression provoquée par les objets sur nos sens [65]. Dans les travaux de Giboreau [123], nous trouvons la définition de Locke (1632-1704) concernant la sensation « *Nos sens étant frappés par certains objets extérieurs, font entrer dans notre âme plusieurs perceptions distinctes des choses, selon les diverses manières dont ces objets agissent sur nos sens, et comme cette grande source de la plupart des idées que nous avons dépend entièrement de nos sens, et le communique par leur moyen à notre entendement, je l'appelle sensation* ». Au 18^{ème} siècle, le terme sensation s'oppose au terme de perception [65] : la sensation est liée à la personnalité de l'individu, uniquement psychique et indépendant des objets, tandis que la perception concerne la mémorisation et la reconnaissance des objets. Au 19^{ème} siècle, le débat devient un sujet de recherche dans le champ expérimental et constitue le fondement de la psychologie. Le but est de connaître les lois (liens) entre la grandeur physique (stimulus²⁸) et les sensations (loi de Fechner, Weber) [124]. Selon Bagot [65], Helmholtz suggère d'envisager la perception comme l'interprétation des données sensorielles. Au début du 20^{ème} siècle, la perception a été considérée comme l'accumulation de nombreuses sensations élémentaires, la sensation est une étape initiale pour la perception [65]. Aujourd'hui, il est établi que la perception nécessite un traitement de l'information plus important que celui de la sensation [65][125]. Selon Urdapilleta et al [126], Changeux (1983) considère que la description des perceptions est un phénomène complexe, car elle ne correspond pas à une recherche de la réalité, mais à l'expression sémantique d'une réaction individuelle. Il a décrit la sensation *comme étant le résultat immédiat de l'entrée en activité des récepteurs sensoriels*, et la perception *comme étant l'étape finale de reconnaissance et d'identification de l'objet*. En termes de physiologie, la sensation correspond à la détection, par les récepteurs sensoriels excités, des changements physiques survenant dans l'environnement et la transmission de cette information par un influx nerveux, qui se propage jusqu'au système nerveux central. La perception, est alors l'ensemble des processus par lesquelles le cerveau organise et interprète l'information sensorielle, et qui rend possible l'assemblage des informations sensorielles en unité significative [125]. En effet, quel que soit le système sensoriel (vision, olfaction, audition, toucher, et goût), la perception s'élabore au niveau du conscient : en partant d'une information brute, une image sensorielle, qui est la représentation de l'objet stimulant nos sens est élaborée. Cette représentation repose sur la capacité et la particularité propre de l'individu qui réalise la description de l'objet : nous percevons une représentation des choses et non les choses elles-mêmes [127][128].

11.1 PERCEPTION AUDITIVE

L'audition est la modalité sensorielle qui nous permet d'entendre, de percevoir les sons. L'être humain, dans son environnement naturel, est entouré par des événements d'origine acoustique, le champ auditif, d'une manière telle qu'il est impossible de les éviter. *Le terme son désigne aussi bien la sensation perçue que la vibration sonore qui lui donne naissance* [65]. Dans le deuxième chapitre, nous avons discuté de la description physique du son. Dans ce chapitre, nous allons discuter de la description du système auditif et de la description de la perception auditive.

11.1.1 Le système auditif

Entre le phénomène physique (vibration des particules d'air) et la perception auditive, se place une étape physique importante. Notre appareil auditif agit en effet comme un véritable capteur qui transforme des variations de pression (onde acoustique) en impulsions nerveuses (onde électrique) [126]. L'oreille est l'organe de la perception du son, elle le transforme en message électrique qui est interprété par le cerveau. Comme tout organe de perception, l'oreille a ses limites (bande passante) : il est habituellement admis que l'oreille saine perçoit les sons compris entre 20Hz et 20kHz. La sensibilité de l'oreille n'est pas égale pour toute sa bande passante et la zone des fréquences moyennes compris entre (2 et 3) kHz est favorisée de façon naturelle [61]. Le seuil²⁴ d'audibilité pour une fréquence donnée correspond au niveau le plus faible que l'oreille est capable d'entendre, soit 0 dB. Le seuil²⁴ de douleur est quant à lui de 120 dB [129]. Dans la Figure 9 [61], nous observons le champ auditif d'un être humain et le seuil de perception.

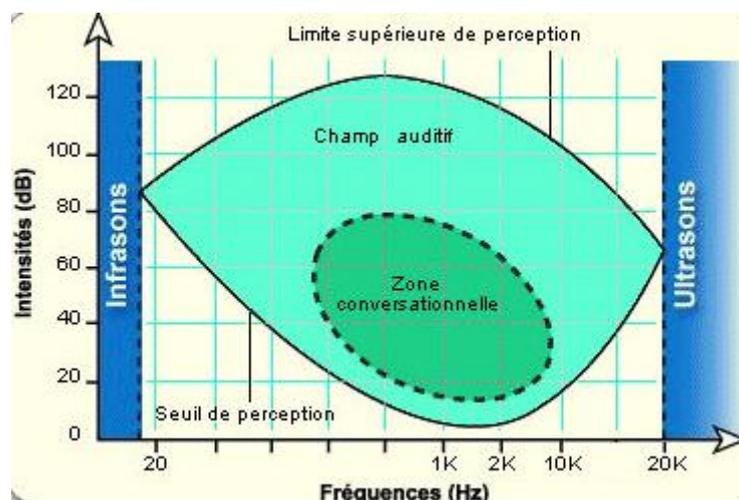


Figure 9 : Champ auditif d'être humain et le seuil de perception [61]

L'oreille se divise en trois parties qui correspondent à des différences anatomiques et fonctionnelles [129][65][130] : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. Les trois parties sont présentées dans la Figure 10 [129].

- Oreille externe : elle comprend le pavillon et le conduit auditif pour collecter les ondes sonores. La géométrie et la nature de l'oreille externe donnent naissance à des phénomènes de résonance qui amplifient les fréquences moyennes.
- Oreille moyenne : elle comprend le tympan, ainsi que les osselets (le marteau, l'enclume, et l'étrier). L'onde sonore fait vibrer le tympan qui transmet immédiatement la vibration à la chaîne des osselets qui amplifie, en concentrant les vibrations de la grande surface du tympan sur la surface beaucoup plus petite de la platine de l'étrier, le signal transmis à l'oreille interne.
- Oreille interne : elle comporte deux parties : la cochlée, responsable de l'audition, et l'appareil vestibulaire responsable de l'équilibre. La membrane basilaire s'étend longitudinalement dans la cochlée et porte l'organe de Corti, qui est l'ensemble composé des cellules de soutien, des cellules ciliées internes et des cellules ciliées externes. Cette membrane provoque une excitation des cellules sensorielles ciliées et une déformation de leurs pointes. Il en résulte une modification de leur potentiel de repos, modification de l'état électrochimique, ce qui provoque à son tour une stimulation des fibres du nerf auditif connectées à la base de chacune de ces cellules. Ces signaux nerveux sont ensuite transmis à l'aire auditive du cerveau pour l'interprétation du stimulus²⁸ [131][132]. Le grand nombre de neurones répartis dans la cochlée sont associées aux fréquences moyennes, et la sensibilité globale à ces fréquences est liée au nombre moyen de décharges nerveuse [74].

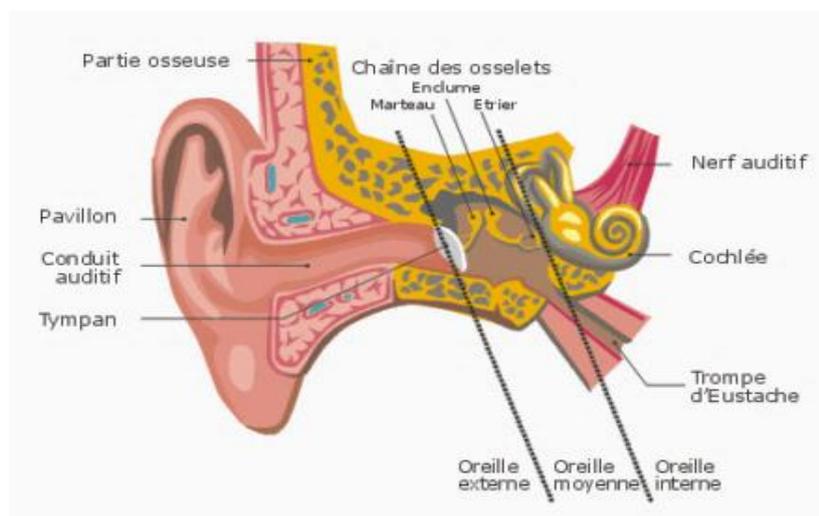


Figure 10 : Structure de système auditif chez l'homme[129]

L'oreille est plus apte à détecter une différence entre deux grandeurs (analyse différentielle) que pour en évaluer les niveaux absolus (mesure). En l'absence de relation directe entre les grandeurs physiques du son et les perceptions provoquée chez les individus [61], des indices psycho-acoustiques ont été développés. Trois paramètres essentiels lors de perception du son sont décrits : l'intensité, la hauteur, et le timbre [133].

11.1.1.1 Perception de l'intensité

L'oreille est sensible, de préférence, à des différences d'intensité plus qu'à leur valeur. Pour juger si un son est plus fort qu'un autre, l'intensité doit être augmentée suffisamment pour dépasser un seuil²⁴, appelé seuil de perception différentielle. L'intensité de la sensation s'élève par grades successifs. A chaque grade correspond une certaine augmentation de l'excitation égale au seuil différentiel d'intensité $\frac{\Delta I}{I}$ [61]. Ceci peut se traduire par la loi de Fechner qui est appliquée à l'ensemble des organes des sens et qui établit que l'augmentation relative de la sensation est proportionnelle au logarithme de la grandeur excitatrice. Soit S la sensation provoquée par la grandeur physique I (Intensité de son), la loi de Fechner s'écrit [124] :

$$S = k \cdot \log \frac{\Delta I}{I} \quad \text{Équation 20}$$

Lorsque le niveau d'intensité du stimulus²⁸ augmente, le seuil différentiel relatif de l'intensité sonore diminue. L'augmentation de l'intensité sonore, jusqu'à 30 dB, provoque une amélioration de la sensibilité discriminative du système auditif [65]. Au-delà de 30 dB la loi de Bouguer-Weber qui indique que le seuil différentiel relatif reste constant s'applique [134]. Bagot [65] a expliqué que *«l'activité de système auditif est distribuée dans plusieurs filtres adjacents répartis sur l'ensemble des fréquences. Tant que l'intensité d'un son pur reste faible, le son n'active qu'un faible nombre de filtres (un son pur correspond à un filtre). Lorsque le niveau d'intensité augmente, l'activité s'étend aux filtres voisins, et la discrimination s'améliore car elle résulterait de la sommation des écarts d'activité appréciables dans chacun des filtres. Le nombre des filtres actifs peut s'accroître avec l'intensité, mais dès 30 dB, tous les filtres sont impliqués»*.

L'intensité sonore perçue, appelée sonie²⁶, est une grandeur sensorielle non directement liée au niveau de pression acoustique (grandeur physique) du signal sonore [135][136]. L'oreille n'étant pas uniformément sensible à toutes les fréquences [126], l'oreille est plutôt sensible aux moyennes fréquences (autour de 3 kHz) qu'aux basses et hautes fréquences [69], comme nous l'avons déjà mentionné. Cela explique pourquoi un son peut être perçu plus fort qu'un autre même si son niveau de pression acoustique est le même. Ainsi, par exemple cette propriété est exploitée pour la diffusion de publicité afin qu'elles semblent plus fortes que les émissions en cours [126]. C'est pourquoi les psychoacousticiens (Fletcher et Munson) [137][138] ont élaboré un ensemble de courbes appelées isosoniques qui correspondent à une même perception d'intensité sonore. Chaque courbe correspond à l'intensité pour laquelle toutes les fréquences de la gamme audible provoquent une sensation de même force sonore, égale à celle du niveau du son de référence à 1000 Hz, (cf. *annexe 2*).

En effet, l'intensité perçue varie en fonction du niveau sonore du stimulus²⁸, la nature du signal et la durée du signal. L'intensité perçue en fonction de la pression acoustique apparaît assez bien approchée par une loi en puissance ; ce qui correspond à la loi de Stevens [74]. Celle-ci, donnée dans la formule suivante [139], représente une évolution sensorielle proche de loi de Fechner pour $1 > a$.

$$S = k \cdot p^a \quad \text{Équation 21}$$

Pour $a = 0,6$, l'intensité perçue (sonie²⁶) est doublée tous les 10 dB [74]. Ceci est validé pour les sons d'intensité sonore physique supérieure à 30 dB comme cela est présenté dans la Figure 11 sachant que 1 sonie²⁶ correspond à 40 dB.

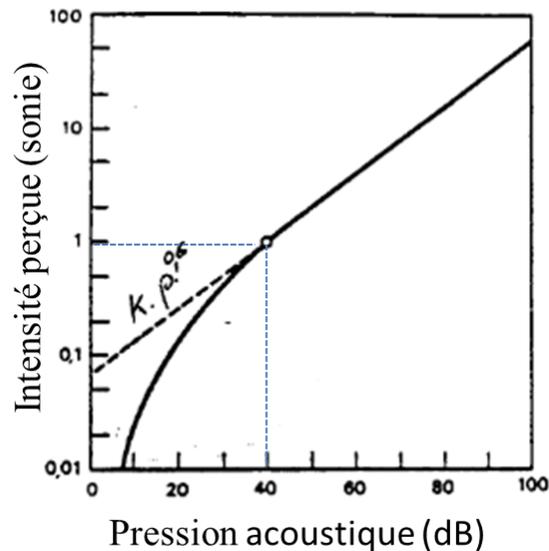


Figure 11 : Relation entre l'intensité physique du son et l'intensité perçue [74]

La perception des signaux n'est pas toujours la même : l'intensité perçue d'un bruit de large bande est toujours supérieur à celle d'un son pur, à intensité physique égale [74]. La durée du signal peut influencer la perception de l'intensité d'un signal sonore si celle-ci est inférieure de 100 ms. Ainsi, un son d'une durée de 80 ms sera perçu comme plus fort que le même son d'une durée de 20 ms [140]. Vu la différence de sensation provoquée par des sons de fréquences différentes, une correction liée à la fréquence est faite pour tenir compte des variations de sensibilité de l'oreille [141]. Il est courant d'utiliser un système de pondération tenant compte des courbes isosoniques à différents niveaux. Le niveau en pondération A (écrit alors dB(A)) est le plus utilisé car il permet de réaliser une bonne corrélation entre les nombreux critères d'évaluation subjectifs possibles existants [142][61].

11.1.1.2 Perception de la hauteur

La hauteur du son est la qualité de la sensation qui nous permet de classer en série les sons allant de grave à aigu [65][62]. La hauteur est fortement dépendante de la fréquence des sons. Nous considérons que les sons sont graves pour les fréquences inférieures à 400 Hz. Les sons médiums sont ceux dont la fréquence est comprise entre (400-1600) Hz, et les sons aigus ceux dont la fréquence est supérieure à 1600 Hz. Castellengo [143] a divisé la hauteur de son en deux types :

- La hauteur tonale qui est liée à la fréquence pour les sons périodiques. Elle nous permet de juger si le signal est grave ou aigu.
- La hauteur spectrale : c'est la hauteur d'un son complexe qui tend à séparer les composants d'un son sur une échelle fréquentielle continue. Cette hauteur permet une perception distincte des sons simultanés et de juger si un son est plus grave/aigu qu'un autre grâce aux différentes hauteurs spectrales [74].

L'oreille est sensible aux variations en fréquence [144], le plus petit intervalle perceptible de fréquence Δf (différence fréquentielle) permet de distinguer la hauteur de deux sons, l'un plus grave ou plus aigu que l'autre [61]. Ce n'est pas le paramètre fréquentiel que l'on juge, mais le seuil²⁴ de perception différentiel relatif en fréquence $\frac{\Delta f}{f}$ qui est le plus utilisé en pratique pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine. Le seuil²⁴ différentiel relatif en fréquence est quasiment constant pour les fréquences médiums, tandis qu'il s'élève pour les fréquences graves et aigues. Cela explique qu'une octave située dans des zones de fréquences médiums est plus perceptible que si elle est placée dans les zones de fréquences très graves ou très aigues [65].

11.1.1.3 Perception du timbre

Comme cela a été déjà vu (cf. chapitre 2 : § 7.3.3), ce paramètre est subjectif et qualitatif. Il est plutôt utilisé pour décrire des sons de même hauteur et de même intensité (par exemple, les sons des instruments de musique) en utilisant des termes tels que *terne/brillant*, *froid/chaud*, *pur/riche* [68]. La perception du timbre est liée au signal et à sa variation dans le temps (la façon dont les sons commencent et finissent), ce qui permet d'identifier le mode de génération du son (pincé, frappé, gratté) [145]. Le concept de timbre est donc relié à l'étude du matériau sonore : d'une part, la structure matérielle excitée [146] (métal, bois, etc.), et d'autre part, le mode d'excitation (soufflé, frotté) [147]. Le timbre est lié à la répartition d'énergie sonore dans le spectre²⁷ et à la fois à la fluctuation de l'enveloppe spectrale. En conséquence, le timbre est un terme à plusieurs dimensions [148][149] et notre système auditif nous permet d'être sensible à la distribution de l'énergie du spectre sonore et d'évaluer subjectivement le timbre des sons.

La représentation physique du son, ne renseignant pas suffisamment pour donner l'identité du son, la perception du son par l'écoute, la prise en compte des dimensions physiologiques (le fonctionnement de l'oreille) [150] et des dimensions psycho-acoustiques (qui s'intéressent à la réponse du sujet²⁹) sont essentielles pour mieux comprendre et évaluer les sons [151]. Les études psycho-acoustiques de la perception auditive sont largement liées aux métrologies des mesures. C'est la raison pour laquelle la méthode que nous avons choisie, l'analyse sensorielle, est essentielle pour décrire et évaluer le son.

75% de nouveaux produits (les produits alimentaires) proposés aux consommateurs échouent dans la première année de leur lancement sur le marché [152]. Par conséquent, les ressources investies dans leur développement sont gaspillées [153]. Les attributs sensoriels tels que la flaveur du café, le bruit de fermeture d'une portière de voiture sont des clés déterminantes de l'adoption des produits, y compris la qualité fonctionnelle, et l'avantage émotionnel [154]. Ainsi, une proportion importante de non-succès des produits proposés peut être attribuée à une inadéquation entre les propriétés sensorielles et les attentes des consommateurs. Lorsque ces considérations sont intégrées dès le départ au sein du processus de développement de produits, les tests sensoriels permettent de livrer les produits tels qu'ils sont attendus et espérés par les consommateurs, diminuant ainsi le risque de rejet [155].

12 ANALYSE SENSORIELLE

L'analyse sensorielle est définie par la norme NF EN ISO 5492 [156] comme *la science relative à l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens*. Plus précisément, Anon [157] a défini l'évaluation sensorielle comme une méthode scientifique utilisée pour provoquer, mesurer, analyser et interpréter les réponses à des produits telles que perçues par les sens humains (la vue, le toucher, l'ouïe, l'odorat, et le goût).

Puisque la méthode d'analyse sensorielle utilise les sens humains comme récepteurs des stimuli environnants, il est important de comprendre les caractéristiques de la réponse sensorielle.

12.1 CARACTERISTIQUES DE LA REPOSE SENSORIELLE

Quel que soit le système sensoriel, une information sensorielle brute est le résultat d'une simulation appliquée sur l'organe par l'environnement [11]. La réponse sensorielle peut être de trois formes [158] :

- Physiologique : l'ensemble des réactions physiques des récepteurs sensoriels excités, des nerfs et des centres sensoriels.

- Comportementale : elle reflète surtout la sensation, le comportement du sujet²⁹ au signal auquel il lui est demandé de répondre.
- Verbale : propre à l'homme, c'est le contenu sémantique de cette réponse qui est pris en compte.

Le parcours de toute sensation commence au niveau des récepteurs sensoriels présentés au niveau des organes sensoriels : les récepteurs sensoriels convertissent l'énergie provenant du stimulus²⁸ (onde sonore par exemple) en impulsion électrique, qui se propage le long des nerfs sensitifs jusqu'au cerveau. La réponse réside dans le fait que le système nerveux encode le message. Chaque sens amène l'information par les voies qui lui sont propres jusqu'aux différentes régions du cerveau. Les différentes informations seront intégrées au niveau du système nerveux central qui permettra une réponse adaptée de l'organisme [125][159][160]. La réponse sensorielle, qui est décrite par sa qualité et son intensité, est liée à l'intensité du stimulus²⁸. L'intensité de la réponse sensorielle augmente avec l'augmentation de l'intensité du stimulus selon les équations de Fechner (1860) et Stevens (1957) mentionnées dans le paragraphe précédent (§11.1.1.1). La notion de qualité de la réponse sensorielle est une composante qui implique l'association d'une image sensorielle avec la perception éprouvée. La reconnaissance est l'opération la plus simple qui s'applique à la perception sensorielle en faisant intervenir des perceptions antérieures mémorisées. Elle renvoie aux opérations d'identification et la description à l'aide à l'ensemble de mots, qu'on appelle des descripteurs [161][158].

L'intensité de la sensation est une composante quantitative de la réponse sensorielle. Cette composante est présentée schématiquement en fonction de la grandeur du stimulus dans la Figure 12.

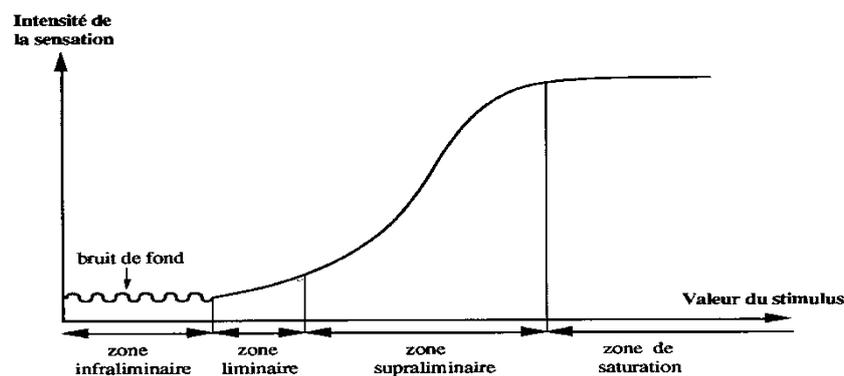


Figure 12 : Variation l'intensité de la sensation en fonction de la grandeur du stimulus [158]

D'après la Figure 12, nous distinguons quatre domaines :

- **Domaine infraliminaire** : la sensation est perdue dans un bruit de fond du système sensoriel.

- Domaine liminaire : l'intensité de la sensation est très faible. La sensation est perçue de façon aléatoire, soit précise, soit indistincte.
- Domaine supraliminaire : domaine dans lequel la sensation est sûre, son intensité allant de faible à forte. Ce domaine est celui auquel s'intéresse l'analyse sensorielle pour pouvoir décrire et quantifier les perceptions perçues [162].
- Domaine de saturation : l'intensité de la sensation ne change plus quand l'intensité de la grandeur physique augmente. La sensation s'accompagne alors d'une gêne.

12.2 ROLE ET APPLICATIONS DE L'ANALYSE SENSORIELLE

Le rôle de l'évaluation sensorielle a considérablement changé au cours des années. Initialement, il était un fournisseur des données, mais maintenant son rôle, est en partenariat avec la R&D et le marketing, de guider le développement et la stratégie commerciale [154]. Un des buts principaux de l'analyse sensorielle est d'exprimer les désirs et les préférences des consommateurs pour un produit. Les besoins des consommateurs vont être traduits par les propriétés sensorielles du produit donné [163][164]. L'analyse sensorielle contribue à identifier les points positifs et négatifs des produits analysés pour mieux comprendre le goût et le besoin des consommateurs. Cette connaissance des besoins des consommateurs peut aider l'entreprise afin d'être compétitive sur son marché. Les tests sensoriels peuvent également fournir des informations sur le comportement humain et de la perception à un niveau plus fondamental. Bassereau [165] a expliqué le rôle de la sensation sur l'appréciation des produits « *Le corps des choses parle directement à notre corps dans le registre du sensible. C'est par la matérialité perçue de l'objet que le consommateur le rencontre. Le produit est choisi, utilisé, aimé, changé sur des critères qualitatifs* ». Grâce à l'analyse sensorielle, on peut identifier les attributs sensoriels des produits proposés qui conduisent à l'acceptabilité¹ par les consommateurs cibles, faire l'analyse des produits concurrents et évaluer les nouveaux concepts proposés [164]. En termes de qualité, l'analyse sensorielle peut être utilisée dans le cadre d'un programme d'assurance qualité³ sur les matières premières, par exemple. En outre, les tests sensoriels peuvent fixer des limites d'acceptabilité¹ par les consommateurs pour des spécifications sensorielles utilisées lors des tests de qualité [166][167][168]. Ainsi, la fonctionnalité des produits de grande consommation n'est plus le critère unique lors de la conception, mais de plus en plus des paramètres sensoriels sont pris en compte. Cela est confirmé par Ragot [169] qui décrit l'influence des critères sensoriels dans nos achats de la façon suivante « *nous n'achetons plus d'objets pour leurs fonctions, leurs prix, mais aussi pour leurs capacités affectives, notamment visuelles, tactiles, olfactives que nous percevons* ». Même si le consommateur n'en est pas toujours conscient, le son peut intervenir comme un facteur important dans l'achat au même titre que les autres critères sensoriels : visuel, tactile, et olfactif [170]. L'analyse sensorielle répond aussi à la question de

l'évaluation hédonique : le bruit de la fermeture d'une portière d'automobile ou le claquement luxueux d'un briquet, peuvent être une signature acoustique agréable ou non pour les consommateurs [171].

L'analyse sensorielle est née dans le secteur alimentaire dans les années 1940 [172][173] et elle s'est développée dans les années 1950 pour résoudre les problématiques de l'industrie agroalimentaire. C'est pour cette raison que la plupart des applications présentées dans la littérature concernent ce domaine [174][175][176][177]. L'analyse sensorielle a été ensuite appliquée aux produits d'hygiène et de cosmétique dans les années 70-80 puis étendue à l'ensemble des produits industriels [178][123][123]. Les secteurs de l'automobile [164][179] et des téléphones portables [180] ont fait l'objet d'applications de l'analyse sensorielle dans les années 1990. En ce qui concerne le secteur textile, l'analyse sensorielle a été principalement appliquée à l'évaluation du toucher des étoffes. Bogaty et al, en 1956, [181] ont appliqué les techniques d'analyse sensorielle utilisées en agroalimentaire pour évaluer la toucher de textiles. Les travaux les plus récents sur l'évaluation sensorielle du toucher des étoffes ont été réalisés dans la thèse de Philippe (2002) [182], Soufflet (2005) [183] et Ben Said (2007) [11], les références citées dans leurs travaux signalent le développement d'analyse sensorielle en textile.

L'analyse sensorielle s'est trouvée également appliquée dans le domaine acoustique pour juger la qualité sonore des objets. Par exemple, dans le domaine alimentaire, Dacremont [184] a analysé le son de mastication de nourriture en fonction de leur texture : croustillant, craquant, et croquant et elle a comparé la perception du son émis en mordant la nourriture grâce à 60 panélistes (sujets²⁹). Les travaux les plus aboutis dans le domaine auditif sont ceux consacrés à l'évaluation du bruit émis par les installations industrielles dans le cadre de lutte contre le bruit [185]. Par exemple, le bruit de la circulation routière a été étudié par Morel et al [186], en utilisant une échelle continue allant de 0 (pas du tout) à 10 (extrême) avec 51 sujets. Cette échelle est également utilisée dans la norme ISO 1566 [187]. Le bruit du trafic automobile a été évalué par Nilsson [188] en appliquant la méthode d'estimation de grandeurs qui consiste à demander à des panélistes (sujets) entraînés d'estimer le degré d'intensité de chaque stimulus²⁸ présenté dans un ordre désordonné et en lui associant un chiffre, une valeur comparative. Les auditeurs jugent le degré de similitude perceptive entre deux sons en utilisant une échelle continue entre similaire et différent. Des applications sur le bruit d'automobiles ont permis de proposer différents espaces 'produits' [189]. Ainsi, un expert acoustique des moteurs pourra distinguer parmi les bruits d'automobile, les motorisations essence et diesel. Dubois [190] montre qu'il existe plusieurs types de catégories suivant les espaces sonores étudiés. Elle réalise notamment une étude des sons domestiques (claquement de porte, bruit d'un couteau sur du pain, etc.). La tâche des sujets consiste à classer les stimuli sonores dans des

catégories selon le résultat et l'action à l'origine du son. Urdapilleta et al [126] ont expliqué que l'objet a sa signature acoustique personnalisée. Ainsi, par exemple, une évaluation auditive du bruit d'ouverture d'un briquet de luxe a été menée. Des sujets entraînés ont jugé le bruit de différents briquets en écoutant les échantillons sonores sous casque dans une cabine d'évaluation. L'évaluation s'est faite à l'aide d'un vocabulaire commun (*intense, aigu, cliquant, résonnant*). Ces descripteurs sont mis en relation avec les préférences d'utilisateurs (mesure hédonique : *plaisant, agressif...*). Dans le même cadre, Kuwano et al [191] ont mené une étude de comparaison entre la signature acoustique de la fermeture de la portière d'une voiture de type berline luxueuse et d'une voiture de type économique. La comparaison s'est faite sur une échelle sémantique¹⁰. En 2013, Shin et al [192] ont jugé le bruit de la fermeture de la porte d'une voiture en utilisant l'analyse objective et quantitative. Kuwano et al [193] ont montré que les différences culturelles peuvent avoir une influence sur le jugement sonore du même objet. Selon eux, les sujets Allemands jugent le son d'un cloche comme '*agréable, doux, plaisant, relax*' alors que les sujets Japonais le jugent comme '*désagréable, dangereux, effrayant, strident, non plaisant*'. Chollet et al [194] ont montré que l'entraînement des sujets est important pour juger les produits. Les sujets entraînés sont plus compétents à créer les vocabulaires convenables à l'expression des sensations générées et évaluer les produits que les sujets naïfs.

Dans le domaine textile, la première étude menée pour refléter l'influence de bruit des étoffes sur la sensation de l'homme a été faite en 2001 par J.Cho et al [195]. Dans ces travaux il a été trouvé que le bruit de frottement des étoffes avec une amplitude importante peuvent apporter une sensation négative pour les porteurs du vêtement. L'étude a été faite grâce à 10 étudiants de 20-26 ans qui ont écouté le bruit de différentes étoffes commerciales constituées de matières telles que : polyester, polyamide, acétate /polyester. La réaction émotionnelle des sujets a été mesurée, grâce à la mesure physiologique d'électroencéphalogrammes (EEG) et aux activités du système nerveux autonome. G.Cho et al [196] ont comparé le bruit de frottement d'étoffes commerciales en polyester, soie et laine en utilisant une échelle différentielle sémantique¹⁰ comprenant les termes suivants : *softness, loudness, sharpness, clearness, roughness, higness et pleasantness*. Les étoffes en laine (worsted³² et woolen³¹) provoquent la même sensation chez les sujets tandis que les étoffes en polyester (leno¹⁵, taffetas³⁰) provoquent une sensation différente. Le bruit de l'étoffe en soie est perçu comme un bruit *doux* et *plaisant*. Une année plus tard, en 2002, Yi et al [197] ont évalué le bruit de frottement de différentes étoffes en laine à l'aide d'un panel de juges non entraînés. Leur étude s'est faite avec 30 sujets de 18-26 ans, d'audition normale et en utilisant un questionnaire d'estimation libre où une note est attribuée pour chaque sensation provoquée par les sons présentés. Kim et al [198] ont étudié l'influence du type de fil et d'armure de l'étoffes commerciales en soie sur les paramètres psychoacoustique (paramètres de Zwicker) ; *sharpness*²⁵, *loudness*¹⁶, *roughness*²³,

*fluctuation strength*¹³. Selon eux, le type de fil influence la forme du spectre sonore tandis que l'armure fait varier l'énergie spectrale (*loudness*¹⁶). En 2003, Kim et al [199] ont étudié l'influence de la section des fibres sur les propriétés physiques et psychoacoustique des bruits de frottement. Ils ont utilisé des étoffes commerciales en polyester de même armure, mais de différentes formes de section de fibres; circulaire, triangulaire, et creuse. Les fibres de section creuse génèrent un bruit avec une amplitude et sensation (*loudness*¹⁶ et *fluctuation strength*¹³) plus importante. Na et al [200] ont tracé le profil sensoriel, sur une échelle allant de 0 à 5, des réponses auditives des sujets de différentes nationalité : Américain et Coréen, de différents âges et de différents domaines d'activité (musicien, enseignant, étudiant). Ils ont trouvé que les sujets Coréens sont sensibles au bruit des étoffes en soie tandis que les Américains sont plutôt sensibles au bruit des étoffes en laine. Ceci a été expliqué par l'effet culturel où les Américains portent souvent des vêtements en laine alors que les Coréens préfèrent les vêtements en soie. Selon eux, la sensation et l'émotion provoquées par le bruit de frottement peuvent être divisées en quatre groupes : hauteur de bruit (*fort, aigu*), se sentir bien (*doux, sévère aux oreilles*), dimension (*large, profond*), et le 'bruissement'. En 2004, Yi et al [201] ont évalué le bruit des blousons féminins fabriqués en soie et polyester, en utilisant l'échelle sémantique¹⁰ déjà utilisée par G.Cho et al [196]. En 2005, G.Cho et al [202] ont proposé de nouveaux termes tels que *comfort, noisiness, annoyance* pour évaluer, à l'aide de 40 femmes non entraînées, le bruit des étoffes tricotées en polyester en utilisant la méthode d'évaluation libre. En 2007, J.Cho et al [203] ont proposé sept paires de termes opposés pour une évaluation du bruit de différentes étoffes commerciales grâce à 30 femmes non entraînées, d'audition normale, âgées de 25 à 35 ans. Les paires de descripteurs utilisées sont les suivantes: *hard-soft, quiet-loud, dull-sharp, obscure-clear, smooth-rough, low-high, pleasant-unpleasant*. Chaque paire de descripteur a été évaluée sur une échelle [-3, +3]. La note attribuée au descripteur correspond à la sensation provoquée par différents niveaux de pression acoustique du bruit. La Figure 13 [203] présente l'évaluation du descripteur *hard-soft* pour trois niveaux de bruit.

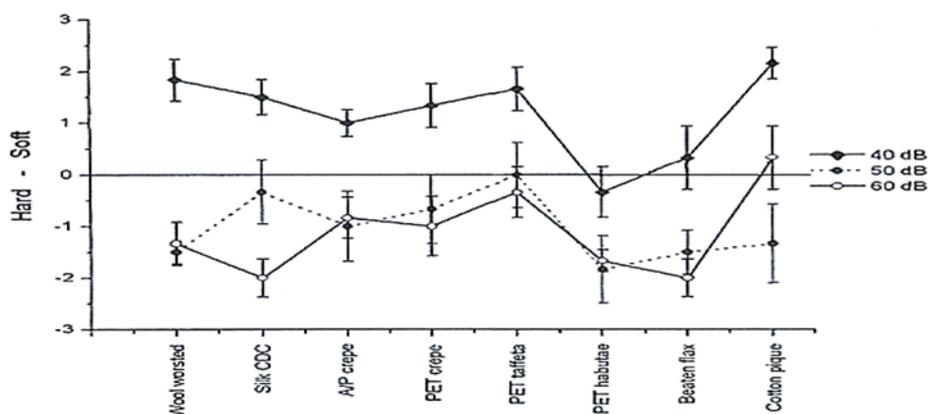


Figure 13 : Echelle d'évaluation subjective du descripteur *hard-soft* [203]

12.3 METHODES D'ANALYSE SENSORIELLE

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour réaliser l'analyse sensorielle de produits. L'objectif de l'analyse et la nature du produit sont des grandeurs essentielles dans le choix de la méthode d'analyse sensorielle qui doit répondre au mieux au problème ou aux besoins précis [172]. Pour ceci, il est très important de comprendre le principe de différentes méthodes d'analyse sensorielle disponibles.

Il existe deux types d'analyse sensorielle [204][154]:

- Analyse objective : cette analyse fournit des données objectives sur les propriétés sensorielles des produits. Elle est effectuée par des sujets entraînés. Il existe deux catégories pour cette analyse : analyse discriminative et analyse descriptive.
- Analyse subjective : ce type d'analyse, connue comme analyse consommateurs, fournit des données telles que l'acceptabilité, la préférence et le plaisir provoquées aux consommateurs. Ce test sensoriel est effectué grâce à des sujets²⁹ (panélistes) non entraînés.

Dans nos travaux, nous avons appliqué les méthodes d'analyse descriptive. Le principe des tests discriminatifs et des tests hédoniques est présente dans l'*annexe 3*. La limitation des tests discriminatifs est de ne pas permettre d'identifier ni de quantifier la différence perçue entre les produits [158].

12.3.1 Les tests descriptifs

Les tests descriptifs sont les tests par lesquels les propriétés sensorielles des produits sont identifiées et quantifiées [205]. L'analyse peut être faite pour tous les paramètres du produit, ou pour certains paramètres. Les résultats des analyses descriptives fournissent des descriptions sensorielles complètes des produits et une base pour déterminer les propriétés sensorielles qui sont importantes pour l'acceptation [172]. Contrairement aux tests discriminatifs et tests d'acceptation (subjectif), où toutes les perceptions sont prises en compte pour une seule évaluation de produit, les tests descriptifs demandent aux sujets d'effectuer des jugements multiples pour chaque produit, et par la suite, d'aider à améliorer le contrôle la qualité de produit [206] et à établir des corrélations entre des mesures sensorielles et des mesures instrumentales. Ces tests comprennent à la fois la détection (discrimination) et la description sensorielle qualitative et quantitative du produit [207]. L'intensité de la sensation perçue doit être quantifiée pour chaque descripteur. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées en analyse descriptive [126] :

- Profil de flaveur, qui est la seule méthode descriptive qualitative pour ce type d'application [208], et le profil de texture [209]. Ces profils visent à identifier les propriétés sensorielles,

du goût, des produits alimentaires. Pour cette raison, ces tests ne peuvent pas être applicables dans le domaine du textile.

- Profil libre choix : dans cette méthode chaque sujet développe son propre vocabulaire et utilise sa liste personnelle pour évaluer les produits. Cette méthode vise à résoudre le problème de variabilité sémantique interculturelle des sujets [210]. Le profil ‘flash’ découle directement de cette méthode avec une présentation simultanée des produits (les sujets classent les produits selon des critères identifiés).
- Profil ‘Spectrum’ : cette méthode se compose d'une caractérisation descriptive précise des descripteurs sensoriels d'un produit. Cette caractérisation fournit des informations sur les descripteurs sensoriels perçus (des notes données, par exemple) et les niveaux ou intensités de chacun [205]. Cette méthode est appelée aussi Universal Scale, fournit un outil descriptif universel en utilisant des références absolues valables pour tout type des produits [126]. Par la suite, il doit être possible de déterminer une différence absolue entre les produits [208].
- Analyse descriptive quantitative : cette méthode permet une description complète de termes pour toutes les propriétés sensorielles du produit (aspect, odeur, flaveur, texture..). Cette méthode appelée profil sensoriel [211], permet de décrire et identifier les produits d'une manière individuelle et l'évaluation sensorielle se fait grâce à des sujets²⁹ entraînés [126]. La possibilité d'évaluer plusieurs produits en un seul test donne l'avantage de permettre un jugement relatif avec un bon degré de précision [172], sachant que l'être humain (sujet) est plus apte à détecter une différence relative qu'une valeur absolue. Elle diffère des méthodes précédentes par la mise en place de la liste de descripteurs qui résulte d'un travail de groupe (nombre limité de sujets) guidé par l'animateur du panel qui gère la discussion entre les sujets sans apporter d'avis [182]. Les performances des sujets et le traitement statistique des données sensorielles au cours des différentes étapes de l'étude (sélection, entraînement des sujets, établissement du profil) font que cette méthode est fiable, efficace et objective. Nous nous sommes intéressés à cette méthode dans ce travail, le protocole et les procédures que nous avons suivis sont détaillés dans le paragraphe suivant (§12.3.3).
- Méthode ‘temps-intensité’ : cette méthode s'intéresse à l'évaluation dynamique des perceptions contrairement aux méthodes précédentes qui sont considérées comme statiques [212]. Elle repose sur le principe de variation de la perception d'un stimulus²⁸ sur un intervalle temporel donné. Cette méthode est longue à mettre mise en œuvre et les résultats sont difficiles à traiter [126].

12.3.2 Profil sensoriel

L'évaluation d'une grandeur sensorielle complexe peut se faire en utilisant deux types de profils sensoriels [158]:

- Profil avec libre choix du vocabulaire qui a été déjà présenté dans le paragraphe précédent.
- Profil conventionnel : l'évaluation complète d'une grandeur sensorielle complexe implique l'utilisation de profil sensoriel conventionnel qui est la généralisation de la méthode d'analyse descriptive quantitative développée par Stone et al (1974) [211] [213]. Le but est d'établir, avec un minimum de mots et un maximum d'efficacité, une description complète des propriétés sensorielles d'un produit sur le plan qualitatif et quantitatif, de manière à établir une carte d'identité, précise, reproductible du produit et qui soit comprise par tous [158]. Le protocole de cette méthode, auquel nous sommes intéressés, est détaillé dans le paragraphe suivant.

12.3.3 Protocole d'établissement d'un profil sensoriel conventionnel

Selon la norme NF ISO 11035 [214], la réalisation du profil sensoriel conventionnel est basée sur les étapes suivantes :

12.3.3.1 Choix des sujets

Les sujets (panélistes) peuvent être divisés en quatre groupes selon la norme NF EN ISO 5492 [215] :

- Naïf : n'ayant jamais participé à un essai sensoriel,
- Initié : ayant déjà participé à un essai sensoriel,
- Qualifié : choisi pour son aptitude à effectuer un essai sensoriel : ce sont les sujets qui participent aux tests de profils sensoriels quantitatifs [11].
- Expert : peut donner un avis dans les domaines où il a la connaissance et l'expérience.

L'ensemble des sujets ou des panélistes forme un groupe nommé panel. Il est intéressant d'utiliser des groupes comprenant des sujets de différents domaines, ce qui permet d'obtenir des vocabulaires riches [158]. Les groupes des sujets descriptifs sont généralement constitués de 8 à 12 personnes selon la norme NF EN ISO 13299 [216], et dans l'analyse descriptive quantitative le nombre de sujets recommandé est de 10 à 12 sujets [208]. Le recrutement des sujets peut être interne ou externe : des sujets dans l'entreprise (laboratoire) volontairement engagés pour participer à l'évaluation sensorielle, ou des sujets rémunérés qui viennent de l'extérieur. Les avantages et les inconvénients de chaque méthode de recrutement sont présentés dans la norme NF ISO 8586 (2012) [217] et le document BP X10-040 (2003) [218]. Quel que soit le groupe de sujets, interne ou externe, les sujets doivent être motivés, disponibles, avec une capacité sensorielle normale (ayant

l'aptitude à décrire les produits et verbaliser la sensation), possédant une capacité à comprendre les questions et répondre à un questionnaire, ouverts d'esprit et sachant travailler en groupe. Les sujets doivent en outre être en bonne santé, sans aucun trouble ni d'aucune allergie ou maladie susceptible d'affecter leurs sens [126][158][216][218].

Dans le cadre d'études sensorielles portant sur les sons et faisant appel à un panel entraîné, il est conseillé de vérifier l'acuité auditive des sujets qui constitueront le panel afin d'écartier ceux qui présenteraient des déficiences auditives. Ceci se fait par un test d'audiométrie au casque selon la recommandation de le document BP X10-043 (2009) [129]. Ce test permet de déterminer le seuil auditif pour chaque oreille et ainsi de dresser un bilan auditif du sujet par l'analyse de l'audiogramme. La méthode de Békésy [219], qui consiste à balayer le spectre sonore des basses fréquences vers les hautes fréquences par une méthode automatique, répond aux recommandations du document BP X10-043 (2009). Pour réaliser ce test, le spécialiste utilise un audiomètre qui présente des sons à des fréquences de différentes intensités. Le test se fait individuellement pour chaque oreille en utilisant un casque. L'intensité des fréquences diminue graduellement jusqu'à ce que le sujet ne puisse plus l'entendre : c'est le seuil d'audition, représenté par un point sur l'audiogramme. Le seuil d'audition est véritablement déterminé par la continuation de l'évaluation auditive en augmentant l'intensité du son pour que le sujet puisse le percevoir de nouveau.

Pour révéler rapidement les principales pertes auditives, il est possible de réaliser un test d'audiométrie en mode binaural, pour les deux oreilles, et dans un environnement adapté (local sensoriel acoustique) aux fréquences étudiées [129]. La Figure 14 [129] présente la réponse auditive normale et anormale de chaque oreille grâce au test d'audiométrie.

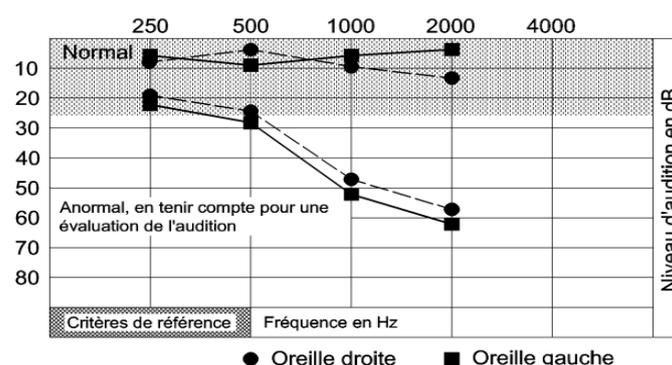


Figure 14 : Exemple de test de perte auditive des sujets [129]

12.3.3.2 Génération des descripteurs

Pour évaluer les produits selon une liste commune de descripteurs, la liste peut être soit préétablie, soit mise en œuvre consensuellement en étant définie par le groupe de sujets agissant sous la conduite de l'animateur du panel. La liste préétablie a l'avantage de réduire la durée de formation des sujets en comparaison avec la liste par consensus, mais la liste par consensus à laquelle nous sommes intéressés présente l'avantage d'avoir une bonne compréhension des termes par l'ensemble des sujets et une participation active des membres du panel (groupe des sujets) [126][158].

L'élaboration de la liste descriptive par le groupe de sujets se déroule en 5 étapes selon la norme NF ISO 11035 [214], que nous allons décrire ci-après :

1) Rechercher de plus grand nombre possible de descripteurs :

Les produits sont présentés aux sujets. Dans la première phase les sujets travaillent individuellement pour permettre une bonne concentration pour la création des termes des vocabulaires ce qui annule le simple recopiage des termes données par les autres [158]. Les sujets proposent individuellement tous les termes qui leur viennent à l'esprit pour décrire toutes les sensations provoquées par les produits. Les sujets travaillent ensuite en groupe. Les discussions entre eux et avec l'animateur conduisent à analyser chaque élément de perception du produit. En général, le groupe de sujets arrive en plusieurs séances à générer plus d'une centaine de termes différents.

Dans cette étape, il est nécessaire de choisir la gamme de produit à évaluer pendant les séances et la méthode de présentation des produits. Deux méthodes sont possibles[220][221] :

- Présentation simultanée des échantillons : l'évaluation de chaque produit est relative aux autres produits évalués simultanément. Il s'agit d'une évaluation comparative. Cette méthode peut être utilisée dans le cas où l'on ne cherchera pas à évaluer ultérieurement ces produits dans un autre espace produit. Cette méthode, qui fait appel à une mémoire à court terme, a pour effet d'accentuer la différence perçue entre les produits à comparer. Bien que cette méthode permette de gagner du temps dans le cas de l'étude d'un nouveau produit, elle offre moins de souplesse dans le protocole expérimental lors de comparaison entre différentes études que la deuxième méthode [126].
- Présentation monadique (un par un) : cette méthode est recommandée lorsqu'on cherche à établir la carte d'identité d'un produit ce qui permet de reprendre l'évaluation pour vérifier la précision de notation. Dans cette méthode, des références attribuées à chaque produit sont présentées aux sujets. Cette méthode fait appel à la mémoire à long terme, et permet de comparer des études faites à différents moments, les produits étant évalués indépendamment les uns les autres [158]. Cette méthode va être retenue dans ce travail.

Le nombre d'échantillons à présenter dépendra beaucoup de la nature des échantillons, de l'objectif, du type de test et du temps disponible [208]. Les produits sont identifiés par un code, donné au hasard, avec un minimum d'information fournie aux sujets sur l'objectif de l'étude et le produit à évaluer [182].

Pendant les séances successives, la liste de descripteurs va être réduite par les sujets jusqu'à l'obtention d'une liste finale.

2) Premier tri (qualitatif) :

Ce tri est réalisé au cours des premières séances par l'expérimentateur lors de discussions avec le groupe, et en présence des échantillons. Tous les termes suivants vont être supprimés :

- Les termes hédoniques tels que : *agréable, bien, appétissant, etc.*
- les termes quantitatifs tels que : *trop, peu, fort, faible, etc.*
- les termes décrivant le produit par lui-même, par exemple *goût de pain* pour du pain.
- les termes non pertinents, par exemple *acide* lorsqu'il s'agit de décrire l'odeur.

3) Deuxième tri (quantitatif) :

Les termes obtenus après le premier tri (réduction) sont souvent trop nombreux et les sujets vont supprimer les termes qui apparaissent mal adaptés pour décrire ou différencier les produits du point de vue du sens étudié. Les sujets vont réévaluer les produits avec les descripteurs et attribuer à chaque descripteur un chiffre de 0 à 5 correspondant à l'intensité perçue. Pour réduire le nombre de descripteurs dans cette phase, on les classe d'abord selon la moyenne géométrique [222], M qui est la racine carrée du produit de la fréquence de citation, F , par l'intensité relative, I , de chaque descripteur

$$M = \sqrt{F \cdot I} \quad \text{Équation 22}$$

Où :

F est le nombre de citations du descripteur rapporté au nombre total de citations possibles pour le descripteur, et exprimé en pourcentage.

I est le rapport de la somme des intensités données par l'ensemble du panel pour un descripteur à la somme des intensités maximales possibles pour ce descripteur, exprimé en pourcentage.

La liste des descripteurs triés contient des descripteurs ayant plus d'information que les autres. On élimine les descripteurs qui cumulativement ne contiennent pas plus que 10% environ de l'information [158].

4) Troisième tri (statistique) :

Le tri, fait grâce à l'analyse multidimensionnelle effectuée sur une matrice produits /descripteurs, permettra de supprimer les termes synonymes (positivement corrélés), grâce à l'Analyse en Composante Principale (ACP), et de regrouper les termes antonymes (négativement corrélés) dans un seul terme [223][213]. La contribution de chaque descripteur à différencier entre les produits peut être obtenue par ACP. La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des descripteurs met également en évidence les corrélations entre descripteurs, et par conséquent les groupes de descripteurs redondants. Les principes de ACP et CAH vont être détaillés dans les paragraphes suivants (respectivement §14.3, §14.4).

La liste finale comprend en général entre 15 et 20 termes pertinents [126] et selon la norme NF ISO 11035 [214], la liste finale ne doit pas dépasser 15 termes pour établir le profil sensoriel.

5) Entraînement des sujets à l'emploi de la liste réduite et contrôle de leur performance :

Pour entraîner les sujets, et pour s'assurer que chaque mot utilisé a le même sens pour eux, le descripteur doit être monodimensionnel et doit être compris par tous les sujets [158]. Puisque l'entraînement est une phase importante de la formation du groupe des sujets, et pour qu'un entraînement soit efficace, on utilise des références qui représentent les extrémités sur l'échelle d'intensité. Ces références sont utilisables par les sujets au moment de l'évaluation du produit [208].

Les références : une référence appropriée comprise par tous les sujets est associée à chaque descripteur. Cette référence sera conservée comme aide-mémoire. Les références peuvent être utilisées pour qualifier un descripteur lors de la formation ou de l'entraînement des sujets et elles peuvent également définir les extremums des échelles bipolaires d'intensité (une référence illustre le '*pas du tout*' et l'autre '*l'extrême*'). Ces références sont utilisées lorsque la méthode d'analyse descriptive quantitative est choisie [126].

Les échelles : L'échelle se définit selon la norme NF ISO 4121[224] comme un outil ou dispositif permettant de consigner la réaction d'un sujet à une certaine propriété de telle façon qu'elle soit convertible en nombres. Dans la littérature, il existe plusieurs types d'échelles selon la méthode d'analyse sensorielle utilisée. Concernant l'analyse descriptive quantitative, deux types d'échelles sont les plus répandues [225] :

- Echelle structurée (intervalle) : les sujets évaluent l'intensité d'un stimulus²⁸ en lui donnant une valeur sur l'échelle, un mot ou un chiffre est attribué aux gradations de l'échelle ce qui permet de différencier les produits [126]. L'échelle structurée pose un problème de choix du nombre de barreaux. Certaines échelles sont de 5 points [226], d'autres de 99 points [227].

- Echelle non structurée (continue) : seules les deux limites extrêmes sont définies. Cette échelle, linéaire, est formée par un segment de droite dont les deux extrémités sont définies par un terme ou chiffre [126][158]. Le sujet est invité à mettre un trait vertical sur le segment horizontal au point correspondant à l'intensité de la sensation perçue. Les échelles continues peuvent être polaires ou bipolaires [224]. Dans l'échelle polaire, le point neutre (point zéro) se situe à une extrémité de l'échelle et dans l'échelle bipolaire le point neutre est placé au centre de l'échelle. Une échelle bipolaire est utilisée lorsque l'intensité d'une propriété varie d'une valeur neutre ou idéale dans l'une ou l'autre des directions. L'échelle non structurée évite le biais lié à l'échelle structurée [162] ; biais attribué aux nombres qui ont des significations négatives ou positives [208]. L'échelle non structurée annule la confusion dans l'esprit du sujet créée par les barreaux de l'échelle structurée [158]. Dans nos travaux, nous avons utilisé des échelles non structurées.

Il est possible de contrôler les performances des panélistes et du panel pendant cette phase d'entraînement afin d'orienter le travail à effectuer au cours de l'apprentissage, mais aussi, à la fin de l'entraînement afin de valider la qualité du panel [223][208].

Les performances des panélistes à contrôler sont les suivantes : la répétabilité, le pouvoir de discrimination et l'homogénéité

- **La répétabilité** : elle vise à vérifier que le même sujet évalue le même produit de la même façon d'une séance à l'autre. Cette étape peut être très longue et demande de nombreuses séances [214]. D'un point de vue empirique, 4 répétitions par sujet pour chaque produit apparaissent optimales [208]. La répétabilité peut être évaluée au niveau individuel ou au niveau du groupe. La répétabilité d'un groupe correspond à la moyenne de la répétabilité individuelle et elle peut être un critère de validation la méthode [213][223]. La répétabilité du groupe est alors évaluée, descripteur par descripteur, en comparant la note moyenne du groupe pour chaque produit entre les différentes évaluations [11]. La répétabilité peut être mesurée simplement par l'écart-type des réponses sensorielles de chaque panéliste pour les descripteurs. Plus l'écart-type est faible, plus les panélistes sont répétables. Cette mesure a été réalisée par Philippe [182]. La réponse de chaque panéliste peut être aussi comparée à la réponse moyenne de l'ensemble du panel. Un autre moyen de vérifier la répétabilité des panélistes est de calculer l'erreur résiduelle (carré moyen) qui indique l'écart entre les répétitions. L'analyse de variance ANOVA pour un facteur (produit) est appliquée pour chaque descripteur. La moyenne des écarts entre les réponses indique l'erreur. Une erreur élevée indique que le panéliste n'est pas répétable [154]. L'erreur obtenue (ϵ) entre les réponses sensorielles est présenté dans la formule suivante [228] :

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\text{CMR}_{\text{intra}}}}{\text{moyenne}} \quad \text{Équation 23}$$

Avec :

$\text{CMR}_{\text{intra}}$: carré moyen résiduel dû à l'effet du produit (les variances intra-groupes des produits). Il représente la somme des variances entre les produits pour un descripteur évalué pendant deux séances / degré de liberté.

Moyenne : c'est la moyenne des notes données dans deux séances successives par un panéliste pour un descripteur donné pour toutes les étoffes.

- **Le pouvoir de discrimination** : est la sensibilité des sujets à détecter une différence entre les produits [229]. Un pouvoir discriminant important indique que les sujets sont assez répétables et en accord pour les différences détectées entre les produits [213], mais selon Pineau [223] il est possible qu'un sujet moins répétable qu'un autre, ait un pouvoir discriminant plus important. Un sujet qui donne toujours une note de 0 est très répétable mais cela ne signifie pas qu'il trouve une différence, alors qu'un sujet peu répétable et qui donne des notes différentes peut être discriminant. Le panel peut être non discriminant si tous les sujets ne sont pas en accord pour l'évaluation de la différence détectée entre les produits, même si les sujets sont individuellement discriminants. Le nombre des descripteurs pour lesquelles les sujets sont discriminants peut être une information efficace pour comparer l'acuité sensorielle des sujets [223]. Pour juger la discrimination, une ANOVA à un facteur (produit) est appliquée [230][231], pour chaque attribut et chaque sujet pour toute la gamme des produits à évaluer. La probabilité du facteur (le produit) (P-value) indique si une différence significative existe entre les produits [154]. Plus cette probabilité est faible, plus les sujets sont capables de différencier le produit. Le niveau de signification du pouvoir de discrimination est accepté avec un risque de 5% ou de 10% de ne pas différencier les produits (le niveau de confiance pour différencier les produits entre eux est de 95% ou de 90% respectivement).
- **L'homogénéité** (degré d'accord) : l'accord du panel correspond à l'homogénéité de la notation des sujets, le degré de ressemblance existant entre les différentes notes attribuées aux descripteurs [223]. Cette performance peut être mesurée en comparant le coefficient de variation des réponses des sujets pour une note moyenne donnée pour un seul produit. Le problème de cette méthode est la considération du niveau de signification (normalement un CV de 20 à 30% permet de conclure que les sujets sont en accord pour leur réponse) [154]. L'analyse de variance à un facteur (sujet) pour plusieurs mesures pour un seul produit peut être utilisée pour vérifier l'accord entre les panélistes [154]. Puisque les sujets,

normalement, utilisent l'échelle d'une manière différente, l'effet du sujet est habituellement significatif, mais cela n'apporte pas effectivement d'information sur la performance des sujets [223]. En pratique, la source de variance entre les réponses des sujets est due à l'interaction (sujet \times produit), l'ANOVA à deux facteurs (produit et sujet) est utilisée [208][223]. Le carré moyen de l'interaction exprimé en F (ou la probabilité P-value) donne une indication de l'homogénéité des réponses des sujets : une valeur F importante (ou une valeur de probabilité faible) indique qu'il y a une différence significative et que les réponses des sujets ne sont pas homogènes (pour un niveau de signification à 5% par exemple). La variation de l'interaction peut être due à l'utilisation différente de l'échelle par les sujets (certains sujets ont une tendance naturelle à utiliser les extrémités de l'échelle) ou les sujets classent les produits suivant un ordre différent [154]. Lorsque l'interaction (sujet \times produit) est significative, on procède à une Analyse en Composante Principales ACP pour visualiser la position des sujets, sur le cercle de corrélation, les uns par rapports aux autres, et permettre d'identifier quels sont les sujets qui ne sont pas en accord pour un descripteur [11][182] :

- Si les sujets sont proches les uns des autres : les sujets sont en accord pour l'évaluation du produit, et pour les définitions et la compréhension des descripteurs.
- Si les sujets sont dispersés sur le cercle de corrélation, les sujets sont en désaccord pour la définition des descripteurs. Dans ce cas, les sujets qui sont les plus écartés du profil de notation de la moyenne de groupe du panel contribuent le plus à la non homogénéité de l'évaluation [232]. Ces sujets vont être isolés pour un entraînement supplémentaire [233] en se servant des références pour qu'ils comprennent mieux la définition du descripteur et par la suite classent les produits en accord avec les membres du panel.

Après avoir réalisé ces étapes, les sujets sont invités à évaluer les produits ce qui permettra d'élaborer le profil qui présentera les propriétés sensorielles du produit. Seuls les descripteurs discriminants sur lesquels le groupe est en accord vont être pris en compte pour tracer le profil sensoriel.

Il est très important de rappeler le rôle de l'animateur du panel pendant toutes ces étapes [214] : c'est lui qui veille à garder une communication entre les sujets en les motivant au fur et à mesure de la formation. Il doit avoir un bon esprit de synthèse pour être capable de formuler clairement les problèmes et interpréter correctement les résultats [158].

Le protocole de profil sensoriel conventionnel peut être résumé dans la Figure 15 [214].

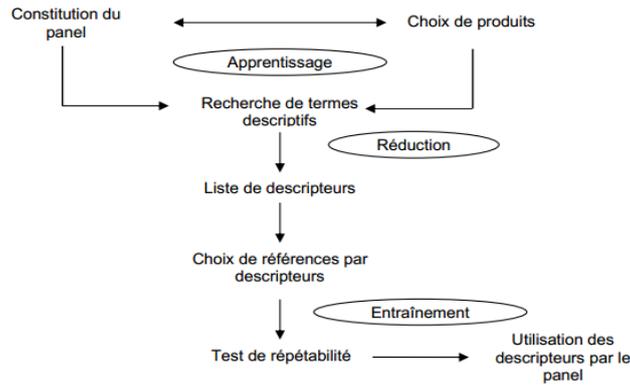


Figure 15 : Protocole de l'établissement de profil sensoriel conventionnel [214]

La nécessité de décrire les relations entre stimulus et perception, c'est-à-dire d'établir des lois de correspondance entre la variation des paramètres physiques du son et celle des paramètres perceptifs [234] est très important pour mieux comprendre le phénomène sonore. D'où dans le paragraphe suivant nous allons discuter de la corrélation entre les paramètres sensoriels et les mesures instrumentale pour mieux analyser le bruit de frottement d'étoffes textiles.

13 CORRELATION DONNEES INSTRUMENTALLE/SENSORIELLES

Chaque grandeur sensorielle étant généralement influencée par plusieurs grandeurs d'excitation [142], le descripteur *claquant* de bruit d'ouverture d'un briquet peut être corrélé aux transitoires d'attaque d'onde sonore ainsi qu'à la hauteur du son. Classiquement en évaluation sensorielle, la sensation peut être déterminée par les propriétés physiques et chimiques des produits. Cette approche permet ainsi une démarche analytique compatible avec le modèle un stimulus → une réponse [123]. Selon le document prBP X10-045 [235], la corrélation peut être établie entre trois types de données : données sensorielles consommateurs, données sensorielles descriptives et données instrumentales. Nous nous sommes intéressés à la corrélation entre les données sensorielles descriptives et les données instrumentales. Suite aux recommandations du document, il faut chercher la ou les grandeurs physiques ou métrologiques existantes obtenues par mesures instrumentales susceptibles d'être reliées à une perception sensorielle, et vérifier si cette grandeur physique traduit la perception sensorielle. Le terme de modélisation s'applique aux méthodes mathématiques ayant pour but d'établir un lien entre une variable dépendante y (par exemple le descripteur sensoriel) et une ou plusieurs variables x_i (par exemple les variables physiques). La relation à chercher est du type $y = f(x)$. Seules les variables indépendantes (explicatives) seront prises en compte pour établir le modèle. Les redondances entre les variables sont validées par l'étude des coefficient de corrélations linéaires [235]. Plusieurs méthodes de modélisation peuvent être utilisées pour établir le modèle telles que les modèles linéaires [162], auxquelles nous nous

sommes intéressés, qui sont largement utilisés, et les modèles non linéaires [236]. Les démarches conseillées en modélisation comportent les étapes suivantes [126]:

- Spécification du modèle : cette phase implique de spécifier les éléments fondamentaux du modèle : les variables explicatives (x_i) à introduire dans le modèle d'une variable dépendante (y_i), la forme de fonction (par exemple la fonction linéaire : $(y_j = f(x_i) = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_ix_i)$), et l'intervention des variables dans la fonction (x_i , x_i^2 , $\log(x_i)$, etc...).
- Estimation des paramètres du modèle : il s'agit de l'estimation des coefficients a_i soit au moyen d'une valeur précise (cas le plus fréquent en évaluation sensorielle), soit par une distribution de probabilité désignée à tous les paramètres. Dans le cas de la régression, ces paramètres sont calculés par la méthode des moindres carrés [235][237].
- Validation du modèle : l'objectif de cette phase est de vérifier les hypothèses du modèle : forme de la fonction, intervention des variables. Afin d'estimer la qualité explicative des modèles, on utilise des indicateurs tels que le coefficient de détermination (R^2), qui est le coefficient de corrélation au carré [235]. Un autre indicateur peut être utilisé pour vérifier la validation du modèle de régression, c'est l'erreur de prédiction, qui est l'écart entre les prédictions et les observations au carré. Cet écart peut représenter les résidus moyens (erreur moyenne quadratique en cas de réponses multiples (données répétées) [238][237]. Une valeur importante de R^2 et une valeur moins importante de l'erreur de prédiction permettent de valider le modèle. Il faut prendre en compte que le modèle n'est valable que sur le domaine couvert par les produits qui participent à sa construction, valable sur les produits pour lesquelles les données de mesure sont incluses dans l'intervalle des données des produits initiales utilisées pour estimer les paramètres du modèle.

Les outils statistiques utilisés pour établir le modèle de régression linéaire sont présentés dans les paragraphes suivants (§14).

Une étude menée par Yi et al [52], pour établir un modèle de prédiction des paramètres physiques du bruit de frottement des étoffes commerciales (coton, polyester, polyamide, laine, soie) à partir de leur propriétés mécaniques a été faite en utilisant la régression linéaire. Ils ont trouvé, par exemple, que la pression acoustique du bruit de frottement des étoffes en laine diminue en fonction de la rugosité de surface. Selon eux, la rugosité importante des étoffes en laine cause une distance importante entre les étoffes mises en contact et produit par la suite moins de frottement. Yi et al [197] ont aussi établi un modèle de relation entre la sensation auditive du bruit de frottement des étoffes commerciales en laine et leurs propriétés mécaniques. La sensation de l'intensité du bruit de frottement diminue de manière logarithmique en fonction de la rugosité de surface. S.Cho et al [239] ont utilisé le coefficient de corrélation (coefficient de Pearson) pour juger la relation entre les

propriétés mécaniques des étoffes tricotés en laine, laine/coton et les paramètres physiques du bruit de frottement. G.Cho et al [196] ont établi un modèle de régression linéaire qui décrit la relation entre les descripteurs tels que *plaisant* et les paramètres physiques de bruit de frottement des étoffes. Un niveau sonore important provoque une sensation moins *plaisante*.

14 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Dans ce paragraphe, nous allons discuter les outils statistiques mises en œuvre pour analyser les données sensorielles ainsi que les données instrumentales.

14.1 ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA)

L'ANOVA est utilisée pour examiner les différentes sources de variation dans un ensemble de données, par exemple la variation de différents types de produits ou différents sujets. L'ANOVA calcule un rapport F pour déterminer si ces sources de variation sont significativement plus grandes que celle due au bruit de fond (erreur) [154]. Les modèles les plus couramment utilisés pour les données sensorielles sont les suivantes [158]:

- ANOVA à un facteur : Ce modèle calcule les variations dues à un seul facteur. Toutes autres variations sont considérées comme un bruit de fond (d'erreur). Généralement, le facteur est le produit, et différents sujets évaluent chaque produit individuellement. L'ANOVA calcule le rapport de la variance interpopulation (inter produits) sur la variance intrapopulation (intra produits), le rapport du carré moyen dû à l'effet produit sur le carré moyen résiduel. Ce rapport s'exprime par la statistique de Fisher F [230]. La valeur F calculée doit être comparée à la valeur critique lue dans le tableau de Fisher au niveau choisi (en général, $\alpha = 5\%$) et avec le degré de liberté correspondant. Si $F_{\text{calculé}}$ est égale ou supérieure à F_{critique} , le test est significatif et les produits sont significativement différents. Sinon, le test n'est pas significatif. Un autre indicateur peut être obtenu par l'ANOVA est la P-value, la probabilité de faire une erreur et décider qu'une différence significative existe entre les produits alors que ce n'est pas le cas. Le test est significatif, la différence est significative, si le risque de faire l'erreur (P-value) est inférieur à 5% [229].
- ANOVA à deux facteurs : Ce modèle calcule les variations dues à deux facteurs et toute interaction entre ces deux facteurs; toute autre variation est considérée comme un bruit de fond (d'erreur) [154]. Typiquement, les facteurs sont le produit et le sujet, où chaque sujet a fourni des réponses répliquées pour chaque échantillon. L'interaction (produit×sujet) est un terme qui estime la spécificité de chacun des sujets dans l'appréciation des produits. L'interaction permet de dire si tous les sujets ont compris le descripteur (interaction non significative) ou non (interaction significative) [182][231]. La signification de ce test est

décidée selon la valeur de F Fisher de l'interaction (produit×sujet), qui est égal au carré moyen d'interaction (produit×sujet) divisé par le carré moyen résiduel, au niveau de signification ($\alpha = 5\%$)

Plus de détail sur l'ANOVA se trouve en annexe (cf. *annexe 4*).

ANOVA n'identifie pas où existent des différences significatives dans un facteur. Par exemple, il peut y avoir un effet d'échantillon significatif mais ANOVA ne renseigne pas sur les paires de groupes pour lesquelles la différence est significative. Cela exige un autre test, le test de comparaison multiple [154][230].

14.2 TEST DE COMPARAISON MULTIPLE

La plupart des tests de comparaison multiple fonctionnent en comparant la différence entre les valeurs moyennes de toutes les paires possibles des échantillons à une valeur critique de signification, si la différence calculée est supérieure à la valeur critique, le test est significatif. Plusieurs tests peuvent être utilisés dont le T Student et test Duncan.

14.2.1 T Student

Ce test est utilisé pour comparer deux produits entre eux, produit 1 et produit 2. En analyse sensorielle, ce sont les mêmes sujets (n sujets) qui testent les produits. On utilisera donc la méthode d'échantillons appariés [158]. Chaque sujet (i) affecte la note (y_{1i}) au produit 1 et la note (y_{2i}) au produit 2. Le principe repose sur la comparaison de la différence $d_i = y_{1i} - y_{2i}$, et l'hypothèse nulle qu'il n'y a pas de différence entre les moyennes.

La statistique T de Student est donnée par la formule suivante [124][158] :

$$T = \frac{d}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}} \quad \text{Équation 24}$$

Avec d , est la différence moyenne : $d = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$, et la variance $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - d)^2}{n-1}$

Cette valeur T est comparée à une valeur critique calculée pour un degré de liberté ($n-1$) fournie dans un tableau spécifique. La plupart des logiciels fournissent cette valeur critique. Si $T_{\text{calculé}}$ est égale ou supérieur à T_{critique} , on rejette l'hypothèse et les échantillons sont significativement différents.

Un autre test lié au test T Student pour comparer la moyenne \bar{y}_1 du groupe de produit 1 avec la moyenne \bar{y}_2 du groupe de produit 2 est : la plus petite différence significative, LSD (Least Significant Difference) [240][241][154].

$$LSD = t * \sqrt{CMR \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \quad \text{Équation 25}$$

Avec t-distribution de T Student, pour un degré de liberté de l'erreur (variance intra-groupes) égale à $n-k$ (nombre totale d'observation moins nombre de groupes).

n_1 et n_2 sont respectivement le nombre d'observations des produits 1 et 2 respectivement.

CMR : carré moyen résiduel (intra-groupe) obtenue par ANOVA.

Le test est significatif si la différence absolue entre les moyennes des groupes des produits ($\bar{y}_1 - \bar{y}_2$) est supérieure à la valeur LSD calculée dans l'équation (4). La signification est prise au niveau de 5%.

14.2.2 Test de Duncan

Ce test vise à comparer les moyennes multiples de différents groupes. Le procédé utilise un niveau de signification α pour l'ensemble des échantillons comparés, plutôt qu'un niveau de signification pour les paires individuelles des échantillons dans le test. Le test de Duncan propose une quantité critique de la différence significative (R_p) dans la formule suivante [242] :

$$R_p = Q_p \sqrt{\frac{S_p^2}{n}} \quad \text{Équation 26}$$

Avec Q_p : une valeur donnée selon le nombre des moyennes à comparer (p) et le degré de liberté ($k(n-1)$), avec n le nombre d'observations, taille identique pour chaque groupe des moyennes à comparer, et k est le nombre total des échantillons. S_p^2 a la même signification que celle obtenue par ANOVA (les variances intra-moyennes). Si la différence entre les moyennes comparées est plus importante que R_p calculé dans l'équation (26), le test est significatif [230][243]. Les résultats sont normalement présentés dans un tableau où les moyennes suivies, rangées, de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% [182][242].

Lorsque l'on applique les méthodes de l'analyse sensorielle, un nombre important de variables peut être utilisé et la difficulté de représenter toutes les informations dans un espace à deux dimensions impose d'utiliser un outil statistique qui permette de représenter la richesse des informations contenues dans l'ensemble des données. Les méthodes les plus classiques de la statistique descriptive multidimensionnelle sont les méthodes factorielles [158]. L'Analyse en Composantes Principales est la méthode à laquelle nous sommes intéressés pour répondre à ce besoin.

14.3 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

Cette méthode est utilisée en analyse descriptive [241], lorsque l'on travaille sur des variables quantitatives. Cette méthode utilisée pour la réduction de dimensions dont l'idée de base a été posée en 1901 par Karel Pearson. Elle permet des représentations visuelles, synthétiques, des produits et des descripteurs à partir des données sensorielles du profil conventionnel [244]. L'objectif est de

résumer la variabilité entre les individus (produits) en un minimum de dimensions non corrélées (les composantes principales) avec une perte d'information minimale [213]. Cette analyse ne travaille pas sur les données brutes mais sur les données centrée réduites [158], l'ACP normée. La démarche consiste à réaliser un prétraitement des données en soustrayant de chaque valeur numérique d'une variable la moyenne de cette variable et en divisant la note obtenue par l'écart-type de la variable afin de donner une variance équivalente (égale à 1) pour toutes les variables [245]. Le principe général de l'ACP est de réduire la dimension des données initiales n (n variables quantitatives), en les remplaçant par m facteurs appropriées ($m < n$). Les m facteurs maximisent l'inertie (somme de variance des variables considérés) du nuage de points dans le sous-espace produit par ces facteurs [246]. Ces facteurs, appelés composantes principales, sont des combinaisons linéaires des variables initiales : chaque composante principale m_i est écrite en fonction de n_j variables initiales de n sous la forme suivante [241] :

$$m_i = a_{i1}n_1 + a_{i2}n_2 + \dots + a_{ij}n_j \quad \text{Équation 27}$$

Avec a_{ij} est le poids associé à chaque variable, qui mesure l'importance de la variable initiale sur chaque composante principale.

Les composantes principales sont classées dans l'ordre décroissant selon les valeurs propres appropriées à chaque axe. Il sera donc plus facile d'extraire l'information la plus importante en prenant en compte les critères suivants [158]:

- Ne retenir que les axes dont les valeurs propres sont supérieures à 1. Il est important que les valeurs propres des axes retenus restituent une "bonne proportion" de l'analyse. Cela signifie que la somme de l'inertie expliquée par chacun des axes représente une partie importante de l'inertie totale.
- Le nombre des composantes est déterminé lorsque la proportion cumulée des données atteint 80% de variabilité [182].

Les variables qui ont la plus forte coordonnée contribuent à déterminer les axes, ce sont en général les variables qui sont situées en positions extrêmes sur l'axe, soit positive soit négative. Ce sont les variables les plus discriminantes [246]. D'un point de vue mathématique, ces axes correspondent aux vecteurs propres associés aux valeurs propres de la matrice de corrélation [158]. La longueur du vecteur associé à chaque variable dans l'espace de représentation, typiquement un plan de deux dimensions, présente sa distance à l'origine et ainsi sa contribution dans cet espace [231]. Lorsque la distance à l'origine (sur un cercle de corrélation) tend vers 1, la contribution de la variable apportée est totale et la variable est bien représentée dans ce plan [182][246].

Dans la majorité des cas, l'ACP est utilisée à partir d'une matrice (produits/descripteurs), qui présente les produits en ligne (individus) et les descripteurs sensoriels en colonne (variables).

Chaque observation correspond à la moyenne des notes du groupe de sujets pour un produit et pour un descripteur [223][182]. Cette analyse permet de détecter la différence entre les produits et d'établir la corrélation entre les descripteurs au niveau du groupe. Lorsque les vecteurs attribués à deux descripteurs sont opposés, les descripteurs sont négativement corrélés et le groupe les perçoit différemment. Lorsque les vecteurs sont proches (petit angle entre eux), les descripteurs sont positivement colinéaires et le groupe les perçoit similairement. Pour obtenir la différence de notation des produits entre les sujets, l'ACP peut être réalisée, pour chaque descripteur, de la matrice dans lequel les produits (en ligne) sont les individus et les sujets (en colonne) sont les variables. La longueur du vecteur d'une variable représente son pouvoir de discrimination. Plus le vecteur est long, plus le sujet est discriminant. Plus les vecteurs sont orientés dans la même direction, plus les sujets ont évalué le produit de la même façon le descripteur [223] [231][247]. La qualité de représentation des points (variables) sur le cercle de corrélation est mesurée par le \cos^2 de l'angle entre le vecteur de la variable et l'axe (composante principale) de la projection par rapport au centre de gravité du nuage de points [158].

14.4 CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE (CAH)

L'objectif de CAH est d'obtenir un dendrogramme à partir d'une matrice de distances entre les différents produits. Le dendrogramme peut être considéré comme un arbre qu'il suffit de couper à un niveau donné ; les branches se délient au nœud. Tous les individus solidaires d'une même branche constituent un groupe. Les groupes différents peuvent être obtenus par le changement de la hauteur de coupe [158]. La CAH a pour but de former l'ensemble des (n) individus des classes selon le degré de ressemblance. Les individus à l'intérieur de chaque groupe (classe) sont les plus homogènes (positivement corrélés) [231], la ressemblance est plus importante (variance intra-groupes est moins importante), alors que la variance inter-groupes est maximale. La distance de ressemblance entre deux produits (intra-groupes) est normalement prise dans un espace euclidien [248] [11]. L'agrégation des groupes, classes, peut varier en fonction du moyen utilisé pour mesurer la distance entre les groupes : distance minimum, distance médiane,..., et distance de Ward [241] qui minimise la perte d'inertie (perte de l'information à l'agrégation des classes), est la plus utilisée pour construire les groupes de classification [249][250][231]. Les individus qui sont fortement corrélés et semblables gardent toujours les mêmes groupes, quel que soit le mode d'agrégation [158].

14.5 ANALYSE DE CORRELATION

La technique statistique la plus simple pour mesurer la force de la relation entre deux variables est le coefficient de corrélation. Le coefficient de corrélation le plus utilisé est le coefficient de corrélation linéaire qui mesure la force de la relation linéaire éventuelle entre deux variables x , y [241]. Le coefficient de corrélation linéaire simple, dit coefficient de Pearson [251][235] est donné par la formule suivante [251] :

$$r = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2][\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2]}} \quad \text{Équation 28}$$

Avec :

r : coefficient de corrélation

$\text{cov}(x, y)$: covariance entre les deux variables x , y

σ_x , σ_y les écarts types des variables x , y

\bar{x} , \bar{y} les moyennes des variables x , y

n : nombre d'observations

La valeur de (r) se trouve entre -1 et +1 ; une valeur égale à 1 indique une relation linéaire positive parfaite entre les deux variables alors que une valeur égale à -1 indique aussi une relation linéaire négative. Pour décider que la corrélation linéaire entre les variables est significative et qu'une vraie relation linéaire existe entre elles, la valeur du coefficient de corrélation (r) calculé dans l'équation (27) est comparée à une valeur critique donnée à un niveau de signification précis (probabilité critique P-value) pour le nombre d'observation donnée (degré de liberté $n-2$) [251][229].

14.6 ANALYSE DE REGRESSION

Cette analyse repose sur la relation entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes. Le modèle de régression linéaire auquel nous nous sommes intéressés, cherche à prévoir une variable dépendante en fonction des variables indépendantes. Deux modèles de régression linéaire peuvent être utilisés [158][241][235] :

- La régression linéaire simple : le modèle de prévision de la variable y en fonction d'une seule variable x s'écrit sous la forme suivante :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad \text{Équation 29}$$

- La régression linéaire multiple : ce modèle prévoit la valeur de variable y en fonction de plusieurs variables x_p , ce modèle est écrit sous la forme suivante :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad \text{Équation 30}$$

Avec :

β_0 : constante, β_p : coefficient de régression de modèle, ε : déviation inexpliquée entre la valeur prédite par le modèle et la valeur réelle, appelée résiduelle.

Les coefficients de régression sont calculés en utilisant la formule suivante : $\hat{\beta}_p = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{pi} - \bar{x}_p)(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_{pi} - \bar{x}_p)^2}$

La valeur constante du modèle est calculée en utilisant la formule suivante : $\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_p \bar{x}$

Ces deux coefficients sont très importants pour minimiser l'écart entre la valeur y_i observée (réelle) et la valeur \hat{y}_i prédite par le modèle, en minimisant la Somme des Carrés des Résidus (SCR) [237]: $SCR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$

On peut juger la qualité du modèle en utilisant le coefficient de détermination (R^2). Ce coefficient représente la proportion de la variabilité totale expliquée en utilisant la variable x pour prédire la variable y . Il varie entre 0 et 1, une valeur égale à 0 montre l'indépendance entre les données observées et celles modélisées et une valeur égale à 1 indique un lien parfait [251][235][252]. Ce coefficient est calculé par la formule suivante : $R^2 = \frac{\sum_{i=0}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{SCR}{SCT}$

Avec SCT, la Somme des Carrés Totale obtenues par ANOVA.

Le coefficient statistique de Fisher F sert aussi à juger la pertinence du modèle et à vérifier s'il est significatif à un niveau précis. Ce critère est lié au coefficient de détermination par la relation suivante : $F = \frac{R^2}{1-R^2}$

D'autres facteurs peuvent aider à juger l'intérêt du modèle tels que : le coefficient de régression standardisés (Bêta), le coefficient de régression aux données réduites et centrées (standardisées), qui donnent l'influence de la variance de la variable x_p sur la variance de la variable y . Par exemple, un accroissement de l'écart-type de la variable x_p implique un accroissement de la variable y . Le test T Student pour tester la signification de prévision, une variable x_p est significativement capable de prédire la variance de la variable dépendante y [158].

Si la relation entre la variable y et la variable x_p n'est pas linéaire, il est couramment possible de transformer les variables : soit x_p , soit y , soit les deux variables pour avoir une relation linéaire. Les valeurs transformées peuvent ensuite être introduites dans l'équation principale du modèle [241]. Afin d'établir le modèle, il est préconisé de choisir les variables indépendantes qui sont les plus corrélées avec la variable dépendante. Pour cela, un tableau de multicolinéarité est utilisé pour décrire la relation entre les variables indépendantes avant de les introduire dans le modèle ; deux variables qui expliquent la même variabilité de la variable à prédire nous conduit à choisir la variable la plus fortement corrélée avec la variable dépendante [253].

Dans le cadre de nos travaux, tous les traitements statistiques des données ont été fait en utilisant les logiciels statistiques suivants : Tastel [228], SPSS [254], JMP [255].

15 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe de la perception du son et la fonctionnalité de l'oreille de l'être humain : la perception de l'intensité, de la hauteur et du timbre. L'oreille est performante pour la perception des fréquences moyennes, elle est plus sensible pour la détection de la différence entre deux sons qu'à estimer leur valeur absolue. L'intensité perçue, sonie, va doubler lorsque la pression acoustique d'un stimulus augmente de 10 dB. L'analyse descriptive quantitative est une méthode objective et efficace pour identifier et quantifier les propriétés sensorielles des produits. Les procédures d'application sont détaillées dans le protocole mentionné dans la norme NF ISO 11035. Cette méthode permet de tracer le profil sensoriel établi par les descripteurs discriminants accordés par les sujets. La régression linéaire, permet d'établir un modèle explicatif et prédictif simple entre les paramètres sensoriels et les paramètres instrumentaux.

II. PARTIE EXPERIMENTALE

Cette partie s'articule en trois chapitres :

- *Chapitre 1 : traitement du signal sonore des étoffes textiles*
- *Chapitre 2 : analyse sensorielle du bruit de frottement des étoffes textiles*
- *Chapitre 3 : corrélation les données et développement d'un vêtement furtif*

CHAPITRE 1

Traitement du signal sonore des étoffes textiles

16 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, le signal sonore des étoffes textiles va être traité et les différents paramètres physiques du son (bruit) des étoffes seront identifiés. Tout d'abord, les méthodes et les matériels concernant la génération et l'enregistrement du bruit de frottement des étoffes seront déterminées. Dans un premier temps, les propriétés sonores d'étoffes commerciales faites de différentes matières premières ont été comparées et discutées. Puis, dans un deuxième temps, l'influence de l'armure sur les caractéristiques sonores des étoffes en coton écru sera étudiée.

17 MATERIELS ET METHODES

17.1 CONDITIONS DE GENERATION DE BRUIT DES ETOFFES

Le bruit de frottement des étoffes a été généré en utilisant le dispositif développé par Latroch [7]. Latroch a identifié les conditions de frottement liées au déplacement d'un volontaire sur un tapis de course. Les conditions de frottement d'étoffe-étoffe, entre l'avant-bras et le tronc, ont été identifiées par la vitesse de frottement, la surface de frottement et la pression appliquée au-dessous de l'emmanchure. Les conditions prises en compte ont été déterminées de la façon suivante :

- La vitesse de frottement (vitesse de l'avant-bras) a été calculée pour un volontaire faisant cet exercice sur un tapis de course pour trois vitesses : (2 km/h) marche, (7 km/h) jogging et (9 km/h) pour la course. La vitesse correspondant à chaque mode de mouvement est présentée dans le Tableau 1. La vitesse de frottement a été calculée en déterminant la distance parcourue par les marqueurs dans le temps à partir de leurs positions sur l'avant-bras du volontaire qui est en activité sportive [7].

Tableau 1 : Vitesse de frottement [7]

mode de mouvement	vitesse moyenne (m/s)
marche	0,56
jogging	0,94
course	1,64

- La surface de frottement correspondant à chaque mode de mouvement est présentée dans le Tableau 2. Cette surface est équivalente à la surface de l'empreinte de la peinture transférée à partir de l'avant-bras au vêtement lors de l'activité d'individu [7].

Tableau 2 : Surface de frottement [7]

mode de mouvement	surface de frottement (cm ²)
marche	90
jogging	120
course	170

- Nous avons identifié la pression de frottement grâce à l'intégration d'un capteur de pression dans le vêtement [58]. Le capteur choisi est un capteur piézorésistant ; plus la pression appliquée sur la zone sensible du capteur augmente, plus la résistance diminue. Le capteur est de marque Flexiforce (A401) [256] avec une zone de détection circulaire de 25,4 mm de diamètre (cf. *annexe 5*). Ce capteur est mince (épaisseur égale à 0,21 mm), souple, muni de circuits imprimés, facile à installer sous le bras du sujet et sans gêne pour ses mouvements. Le capteur a été collé (avec une colle liquide type NEOPREN Pattex) au-dessous du bras sur la zone de frottement. Les connecteurs ont été placés le long des coutures du vêtement du volontaire pour être reliés à une carte d'acquisition électronique, qui est reliée à son tour à un ordinateur sur lequel est installé le logiciel LabVIEW [257].

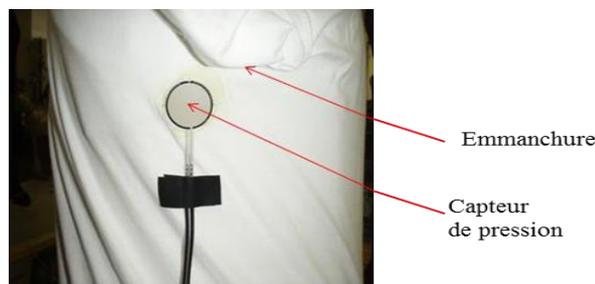


Figure 16 : Placement de capteur de la pression

L'étalonnage du capteur s'est fait grâce à la variation de l'impédance du capteur en fonction de la pression appliquée au-dessous du bras (zone de frottement). Pour cela, une gamme de masse (20-250) g a été choisie en augmentant de 10 g pour chaque essai et en retenant la valeur moyenne de la tension. Le logiciel LabVIEW [257] peut permettre d'acquérir différents types de signaux de sortie (résistance, courant, tension, puissance) et de choisir l'intervalle de mesure. Dans cette étude, l'intervalle utilisé pour la tension est de (0-250 mV) et le temps du signal (0-10 s). Les pressions sont calculées et affichées dans le Tableau 3. La Figure 17 présente la courbe d'étalonnage obtenue.

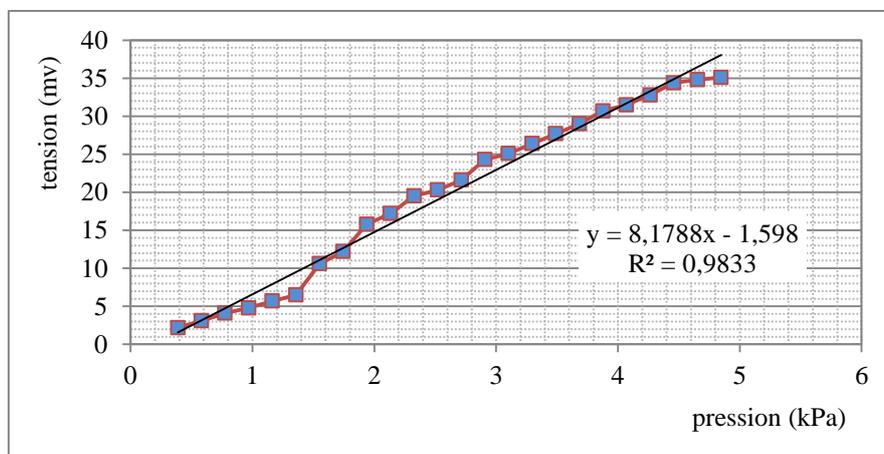


Figure 17 : Courbe d'étalonnage du capteur

La pression est calculée par la formule suivante :

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Équation 31}$$

Avec P la pression en Pa,

F : la force appliquée en N,

A : la surface de la zone de détection. Pour ce capteur, $A = 5,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Les résultats obtenus par l'étalonnage du capteur ont permis d'obtenir les valeurs moyennes de tension correspondant à la pression appliquée sur la zone du frottement. Ces valeurs correspondent aux mesures prises pour un volontaire de 174 cm et de 73 kg.

Tableau 3 : La pression appliquée à la zone du frottement [58]

mouvement	marche (2km/h)	jogging (7km/h)	course (9km/h)
tension moyenne (mV)	12,3	18,4	31
pression (kPa)	1,67	2,35	3,85

17.2 DISPOSITIF DE GENERATION DU BRUIT DES ETOFFES

Le dispositif expérimental développé par Latroch [7] permet de simuler le mouvement de l'avant-bras d'un sujet en déplacement. Ce dispositif nous permet d'avoir le bruit de frottement des étoffes sur elles-mêmes. La conception du dispositif est constituée de trois parties :

- Une partie mécanique
- Une partie d'isolation acoustique
- Une partie d'enregistrement

La partie mécanique assure la conversion du mouvement de rotation d'un moteur électrique à courant continu, en mouvement de balancement. L'angle de balancement est $2\alpha = 18^\circ$. La vitesse de frottement est contrôlée, grâce à la tension du moteur, pour chaque type de mouvement. Le Tableau 4 présente les tensions appliquées pour obtenir les vitesses désirées.

Tableau 4 : Vitesse de frottement correspond à la tension du moteur [7]

mode	marche	jogging	course
tension (V)	2,6	2,9	3,6
vitesse (m/s)	0,56	0,94	1,65

- La partie 'isolation acoustique' est destinée à isoler le microphone d'enregistrement et le séparer de la partie mécanique. Ce dispositif permet d'éviter qu'un bruit extérieur puisse perturber l'enregistrement du bruit de frottement des étoffes. Il est constitué d'une caisse parallélépipédique d'épaisseur 10 mm, en medium, et de taille (880x880x1500 mm³).

L'isolation acoustique est réalisée par une mousse en polyuréthane, collée sur toutes les parois intérieures de la caisse et sur la porte. Cette couche de mousse est de 30 mm d'épaisseur.

- La partie 'enregistrement' est constituée des appareils d'enregistrement du bruit de frottement des étoffes grâce à une chaîne de mesure 'Brüel et Kjaer' composé : d'un microphone type 4190, d'un préamplificateur type 2669 et d'un amplificateur type 2606. La fiche technique est présentée dans *l'annexe 5*.

La Figure 18 présente le générateur du bruit et la caisse d'isolation utilisés pour effectuer les essais expérimentaux.

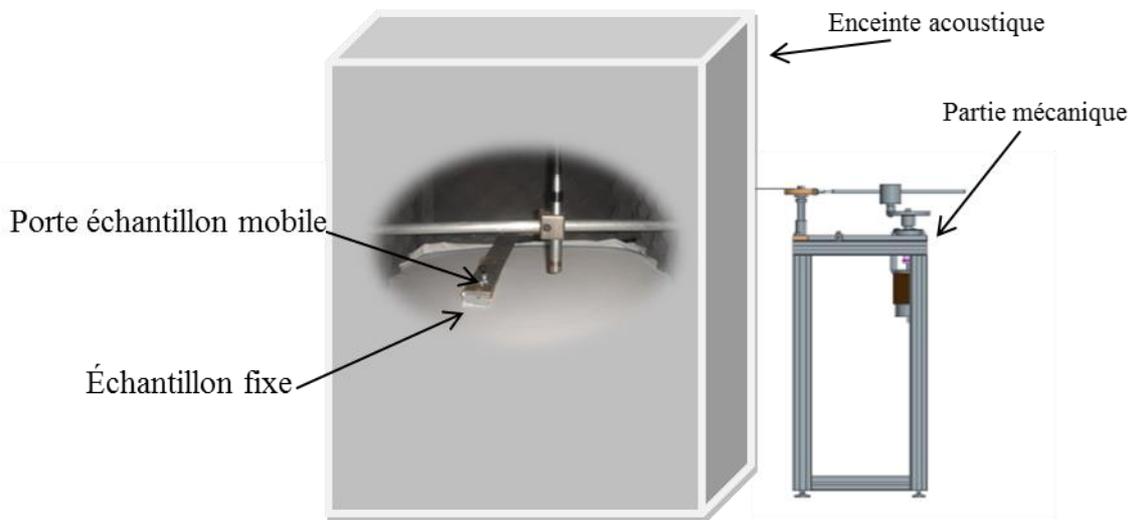


Figure 18 : Générateur du bruit des étoffes [7]

Deux échantillons d'étoffes de même nature sont mis en contact à l'intérieur de l'enceinte acoustique. Le premier échantillon est fixé sur un porte échantillon qui est constitué d'un support en bois recouvert d'une plaque de silicone pour simuler la peau humaine. Ce porte échantillon est monté sur un trépied à hauteur réglable qui permettra une manipulation facile et rapide de l'échantillon en contrôlant aisément la pression appliquée sur la zone de frottement pour chaque mode de mouvement. Le deuxième échantillon est placé sur un bras métallique dont le mouvement de balayage est similaire au mouvement de l'avant-bras. Ce deuxième échantillon frotte le premier échantillon fixe avec la même vitesse que celle du bras d'un individu en déplacement.

17.3 CHOIX DES ECHANTILLONS TEXTILES

14 échantillons textiles ont été initialement choisis pour générer le bruit de frottement. La gamme d'échantillons comprend 13 étoffes tissées et 1 étoffe non-tissée. Les étoffes tissées sont faites de différentes matières premières, de différentes armures et de différents états de surface (traitées d'un point de vue commercial et écru). Le but est d'avoir une gamme la plus large possible de bruits d'étoffes afin qu'ils soient caractérisés grâce aux paramètres physiques choisis. Ainsi, cette gamme

de bruits sera utile pour les sujets du panel, dans la phase d'entraînement, pour découvrir et différencier les différents bruits de frottement des étoffes.

Le Tableau 5 présente les caractéristiques des échantillons textiles. Ces caractéristiques sont déterminées après avoir conditionné les échantillons au laboratoire de métrologie (température $20\pm 2^\circ\text{C}$, humidité relative $65\pm 2\%$) selon la norme NF EN ISO 139 [258]. Des échantillons de dimension de $(50 \times 50 \text{ cm}^2)$, pour l'échantillon fixe, et de $(10 \times 11 \text{ cm}^2)$, pour l'échantillon mobile, sont découpés pour chaque étoffe.

Tableau 5 : Caractérisations des étoffes textiles

matière première	armure	compte (fil/cm)	duitage (fil/cm)	masse surfacique (g/m^2)
coton	toile	85	37	107
polyamide	toile	44	31	68
polyamide/polyurethane	toile	41	37	316
polyester	toile	75	32	110
soie	toile	59	51	35
polyamide	satin 3	44	37	70
coton/écru	satin 5	40,1	28,1	142
coton/écru	toile	37,4	20,9	143
coton	satin 5	36	24	125
coton/écru	sergé 3	38,4	24,4	140
coton/écru	chevron	38,8	30,1	150
lin	toile	24	24	156
coton	non-tissé	-	-	147
polyester	satin 3	41	31	115

Les étoffes en coton écru, mentionnées en gris dans le Tableau 5, ont le même titre de fil (25 tex en trame, 14 tex en chaîne) et le même indice de saturation ($I = 52\%$). L'indice de saturation est défini dans la formule suivante [11]:

$$I = \frac{100 \cdot \text{densité des fils de trame dans la structure}}{\text{densité maximum des fils de trame}} \quad \text{Équation 32}$$

Les armures des étoffes testées sont présentées dans la Figure 19.

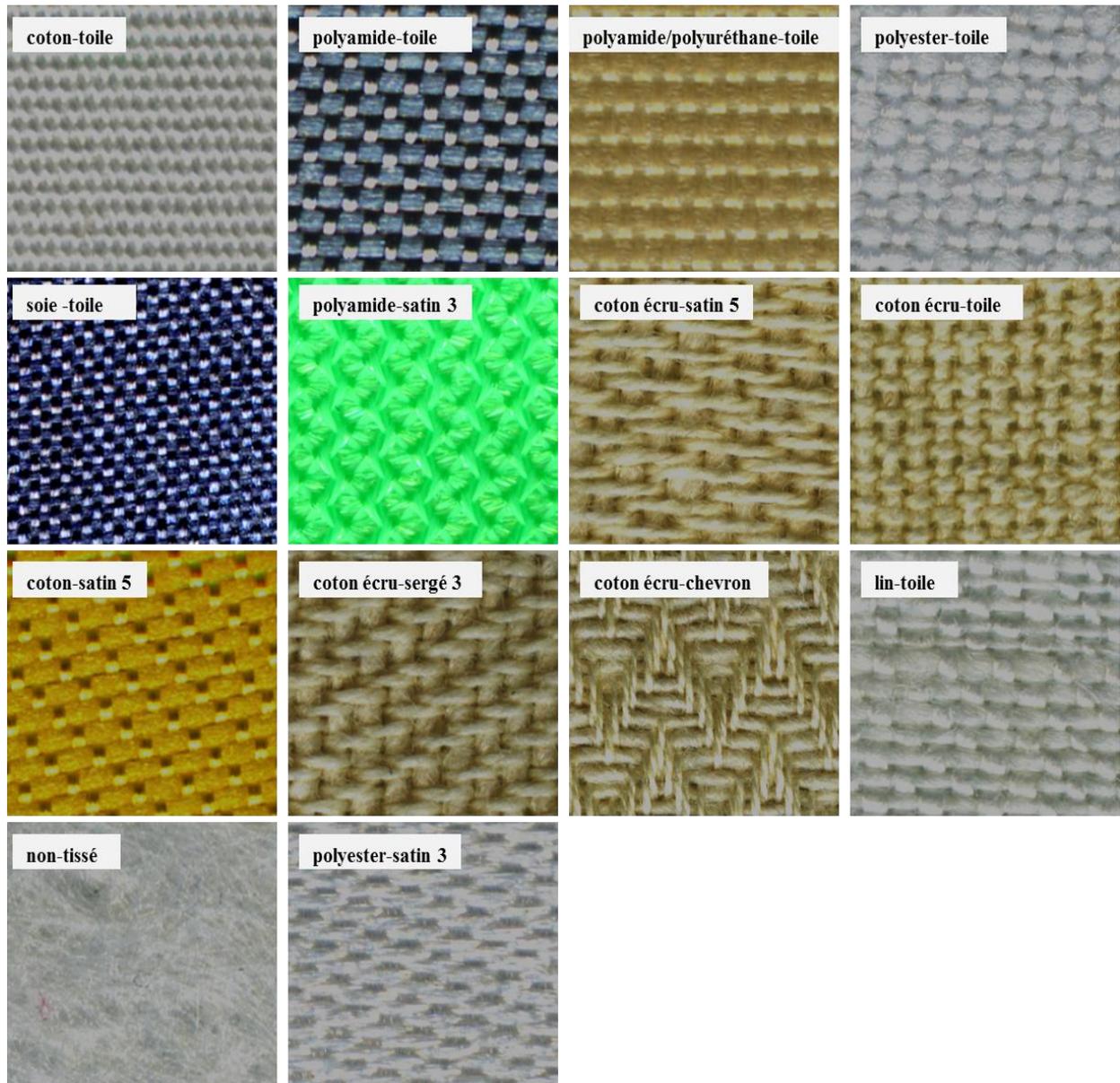


Figure 19 : Armures des étoffes testées

17.4 CHOIX DES PARAMETRES ACOUSTIQUES

Nous avons choisi différents paramètres acoustiques qui nous permettent d'analyser les signaux sonores des échantillons textiles. Ces paramètres acoustiques sont les suivants :

- *La signature acoustique* : c'est la variation de la pression acoustique (Pascal) d'un signal brut en fonction du temps (seconde) - c'est la représentation dans le domaine temporel.

- *le niveau sonore global L_g en dBA (LPT Level Pressure Total)* :

$$L_g = 10 \log [10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}] \quad \text{Équation 33}$$

Avec L_n : niveau sonore de chaque bande n du spectre du son généré sur la gamme de 20 Hz -20 kHz. Les niveaux sonores sont pondérés (pondération type A) pour tenir compte la sensibilité de l'oreille aux différentes fréquences.

Ce paramètre, couramment utilisé dans le domaine acoustique, a été déjà utilisé par Latroch [7] pour comparer le bruit de frottement de ses échantillons. Nous utiliserons ce paramètre pour juger si une étoffe est plus bruyante qu'une autre.

- *L'amplitude du maximum L_m* en dBA. Ce paramètre, obtenu par FFT, permet de savoir si l'amplitude du maximum de spectre sonore du bruit des étoffes se trouve dans la zone fréquentielle la plus perceptible par l'oreille humaine.

- *La plage d'amplitude ΔL* qui correspond à la différence entre le niveau sonore global et l'amplitude du maximum de spectre $\Delta L = L_g - L_m$. Ce paramètre indique si le bruit est homogène et monotone.

- *La bande passante du spectre sonore* (kHz) qui correspond à l'intersection entre le spectre et la ligne droite prise à $L_m - 10$ dBA. Ce paramètre nous permet de comparer la largeur du spectre sonore pour un niveau du bruit effectif et perceptible après avoir annulé les fluctuations qui provoquent la gêne et l'inconfort pour un individu.

- *La différence fréquentielle Δf* : est donnée par la formule suivante :

$$\Delta f = \text{fréquence maximum de la bande passante} / \text{fréquence minimum de la bande passante} \quad \text{Équation 34}$$

Ce rapport permet de juger sur quel intervalle fréquentiel l'énergie spectrale est répartie. Ce paramètre permet de juger l'agressivité du bruit.

. *Représentation dans le domaine temps-fréquence* en appliquant la transformée en S sur le signal sonore des étoffes. Cette analyse sera détaillée ultérieurement (§18.3.2).

Les spectres sonores sont présentés en tiers d'octave¹⁸ pour donner le niveau sonore global L_g et en FFT pour donner l'amplitude correspondante aux composantes fréquentielles, ce qui permet d'obtenir l'amplitude maximum du spectre (L_m) et la fréquence correspondante. Ces paramètres, ainsi que l'empreinte acoustique des étoffes, sont identifiés grâce au logiciel spécifique Audacity® avec une fréquence d'échantillonnage de 44100 Hz. La représentation dans le domaine temps-fréquence et la segmentation du signal sonore ont été obtenues grâce au logiciel Matlab®.

Les paramètres physiques du bruit de frottement des étoffes textiles ont été identifiés après avoir appliqué un filtre passe-haut, avec une fréquence de coupure de 100Hz, sur les signaux bruts. Ceci a permis de réduire le bruit de fond⁴ inférieur à 100 Hz [7]. La représentation dans le domaine temps-fréquence (transformée en S) a été effectuée dans les mêmes conditions d'enregistrement sans filtrage.

17.5 ESSAIS EXPERIMENTAUX

Les essais expérimentaux ont été réalisés pour deux vitesses de frottement (marche et course). Pour cela, les différents facteurs qui influencent la simulation du mouvement de l'avant-bras ont été pris en compte avant d'effectuer le frottement des étoffes. La vitesse de frottement est ajustée par le réglage de la tension du moteur, du dispositif mécanique décrit précédemment, grâce à un multimètre. La surface de frottement est assurée par des porte-échantillons mobiles, avec les dimensions appropriées à la surface prise en compte. Plus de détails se trouvent dans les travaux de thèse de Latroch [7]. La pression appliquée sur la zone de frottement est ajustée en utilisant le capteur de pression type Flexiforce (A401). Le capteur est placé sur la plaque de silicone au-dessous de l'échantillon fixe. La pression est ajustée par le changement de la hauteur de trépied ce qui modifie la force de contact entre les échantillons frottées.

Le microphone est calibré avec une sensibilité de 515mV/Pa. L'étalonnage est fait en utilisant un son de 1kHz et de 94dB. Le microphone est placé 1 cm au-dessus du porte échantillon mobile à l'intérieur de l'enceinte acoustique. L'enregistrement du bruit de frottement est fait pendant 20 secondes en utilisant un enregistreur type Sony (PCM-10).

18 RESULTATS ET DISCUSSION

Dans un premier temps, la signature acoustique du signal acoustique brut a été identifiée pour chaque étoffe textile présentée dans le Tableau 5.

18.1 SIGNATURE ACOUSTIQUE DU SIGNAL SONORE BRUT

Nous présenterons, comme exemple, la signature acoustique de deux étoffes commerciales en coton et en polyester. Ces signatures sont comparées visuellement pour les deux vitesses de frottement (marche et course) et pour les deux armures toile et satin. Des échantillons sonores de 2 secondes ont été extraits du signal total enregistré (pendant 20 secondes). La signature acoustique des autres étoffes commerciales, présentées dans le Tableau 5, se trouvent dans *l'annexe 6*.

18.1.1 Signature acoustique des tissus de coton testés

D'après la Figure 20, nous constatons que l'étoffe commerciale en coton avec l'armure toile présente la même allure de signature acoustique pour les deux vitesses de frottement. L'allure de la signature acoustique pour la vitesse de course est plus riche d'information (les données concernant l'énergie et la fréquence sont plus importantes) avec une amplitude plus importante. La Figure 21 montre l'allure de la signature acoustique pour l'armure satin 5. Le coton commercial en satin 5 conserve l'allure générale de la signature acoustique à la vitesse de course mais avec une signature acoustique plus riche d'information, c'est-à-dire que le spectre sonore comprend plus de segments

et plus de fréquences, et une amplitude plus importante que celle à la vitesse de marche. Les signatures acoustiques sont différentes pour les deux armures. Nous observons dans la Figure 20 et la Figure 21 que les signaux sonores des étoffes en coton sont des signaux périodiques quelles que soient leurs armures.

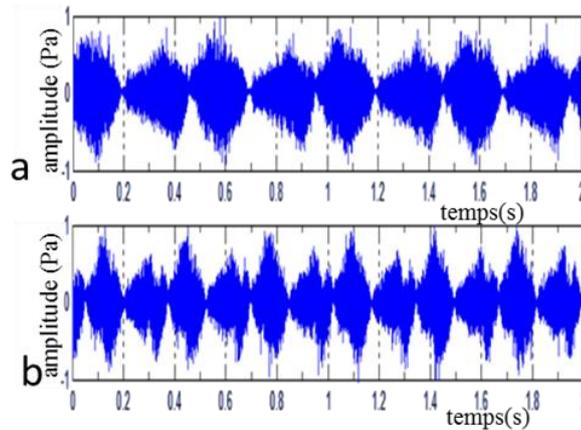


Figure 20 : Signature acoustique pour le coton commercial en toile: a-marche b-course

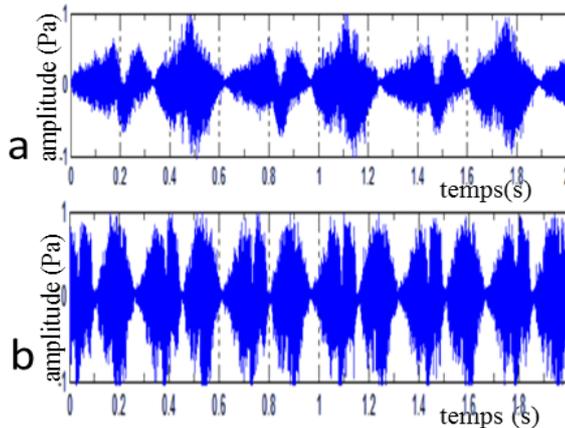


Figure 21 : Signature acoustique pour le coton commercial en satin 5: a-marche b-course

18.1.2 Signature acoustique des tissus de polyester testés

L'étoffe en polyester avec l'armure toile garde la même signature acoustique à la vitesse de marche mais avec une amplitude plus importante pour la course comme cela est présenté dans la Figure 22. L'armure satin 3 présente, dans la Figure 23, une allure de signature acoustique différente de celle de l'armure toile. L'allure de la signature acoustique pour l'étoffe en polyester avec l'armure satin 3 est plus riche d'information à la vitesse de course qu'à la vitesse de marche avec une amplitude moins importante. Les signaux des armures sont périodiques.

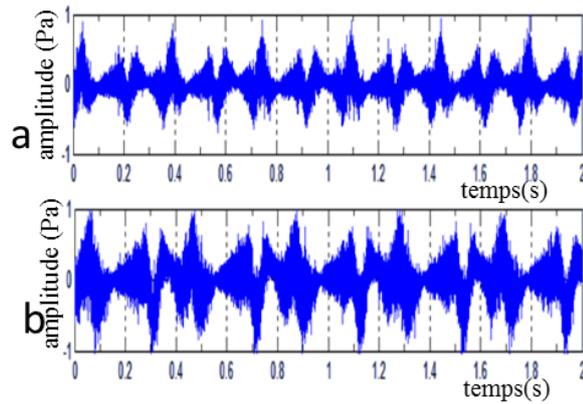


Figure 22 : Signature acoustique pour le polyester commercial en toile: a-marche b-course

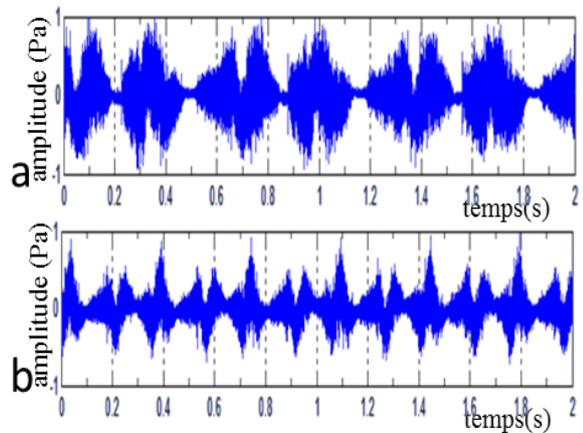


Figure 23 : Signature acoustique pour le polyester commercial en satin 3 : a-marche b-course

Nous constatons que les signaux sonores des étoffes textiles sont périodiques et que chaque étoffe présente sa propre signature acoustique. La signature acoustique change en fonction de l'armure, mais elle garde son allure générale pour les deux tests de frottement testés avec une amplitude et une intensité spectrale différente. Plus de comparaison se trouvent en *annexe 6*.

Puisque ces étoffes sont des étoffes commerciales, les conditions de fabrication ne sont pas similaires et ne sont pas connues. De mêmes les éventuels traitements de surface ne sont pas spécifiés. Ceci pose un problème de comparaison quant à l'influence de l'armure sur la signature acoustique et sur les autres propriétés sonores des étoffes.

- La question qui se pose alors est : est-ce que l'armure a une véritable influence sur la signature acoustique de l'étoffe ?

Pour répondre à cette question nous avons utilisé un jeu d'étoffes en coton écru dont les caractéristiques se trouvent dans le Tableau 5. Elle ont été tissées au laboratoire [11], avec des armures différentes, mais avec les mêmes titre de fils de trame et de chaîne et avec un même indice de saturation (§17.3).

- Les signatures acoustiques, à la vitesse de marche, des étoffes en coton écri avec les armures suivantes : toile, satin 5, chevron et sergé 3 sont présentées sur la Figure 24. D'après les signatures acoustiques obtenues, on s'aperçoit que l'armure semble avoir une influence; la signature acoustique de l'armure sergé 3 est différente de celle de l'armure toile et des autres armures testées. Dans la Figure 25, nous constatons que les signatures acoustiques des armures gardent leur allure générale à la vitesse de course avec un signal plus riche. Les armures toile, satin 5 et chevron présentent des allures de signature acoustique similaires mais différentes de celle du sergé 3. Nous observons que l'amplitude de spectre sonore de l'armure chevron diminue pour la vitesse de course (signature acoustique (f) dans la Figure 25).

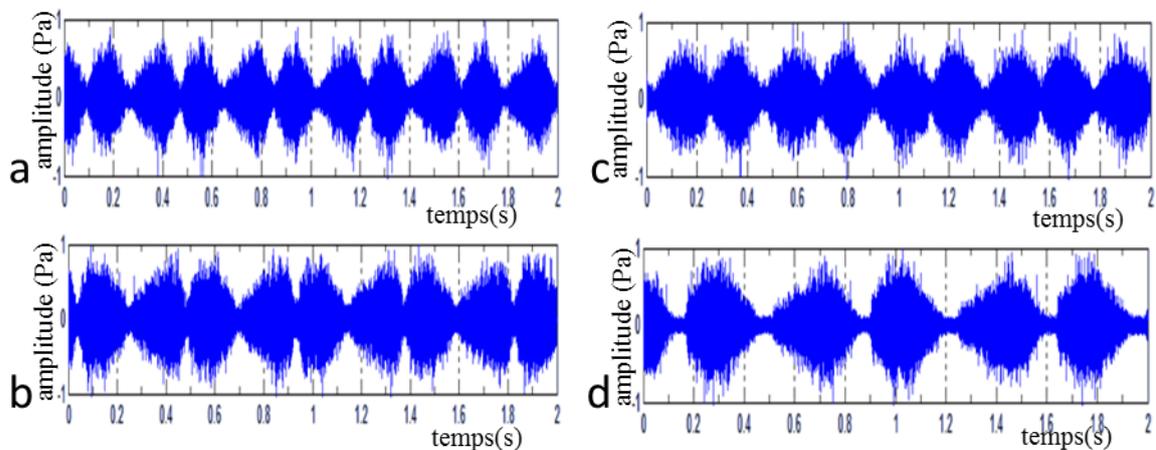


Figure 24 : Signature acoustiques des armures en coton écri pour la vitesse de la marche :

a-toile b-chevron c-satin 5 d-sergé 3

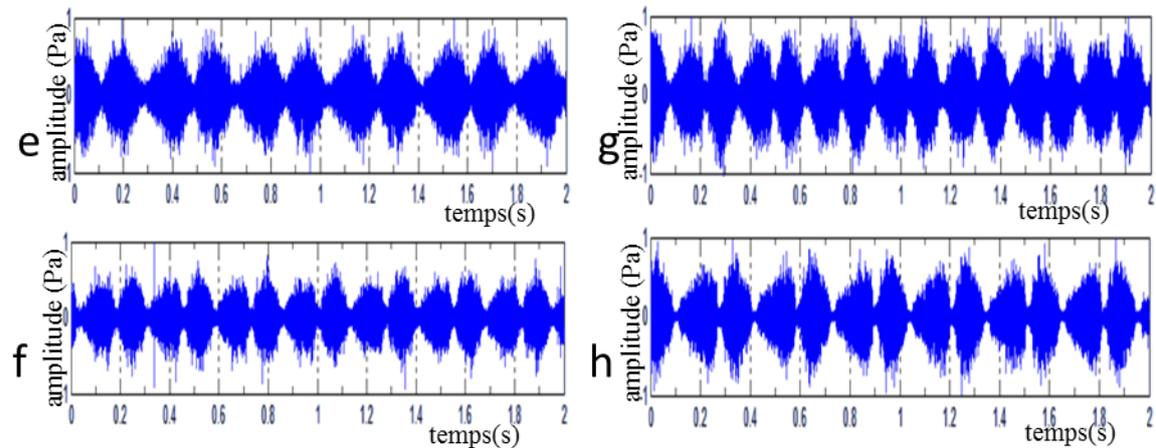


Figure 25 : Signature acoustique des armures en coton écri pour la vitesse de la course :

e-toile f-chevron g-satin 5 h-sergé 3

Après avoir obtenu et décrit la signature acoustique du signal sonore brut des étoffes, nous allons identifier les autres paramètres physiques des bruits de frottement des étoffes. Dans un premier

temps, nous allons discuter des propriétés sonores des étoffes commerciales puis, dans un deuxième temps, de celles des étoffes en coton écri, pour analyser l'influence de l'armure sur les propriétés acoustique.

18.2 PROPRIETES SONORES DES ETOFFES COMMERCIALES

18.2.1 Niveau sonore global

Nous avons enregistré le bruit des étoffes en respectant les conditions de frottement des étoffes, simulant la situation réelle du porter d'un vêtement. Cinq essais ont été faits pour chaque étoffe et les résultats obtenus pour chaque étoffe et chaque mode de mouvement (marche et course) sont présentés dans les Tableaux 6 et 7 respectivement. La Figure 26 montre le niveau sonore, à la vitesse de marche, pour chaque bande de fréquence (20 Hz-20 kHz), pour le bruit de frottement d'une étoffe commerciale en coton (armure toile). Les bandes en gris présentent le niveau sonore avec pondération (dBA) et les bandes en noir présentent le niveau sonore sans pondération en dB. Le niveau sonore global (dBA) est la somme des niveaux sonores transformés des bandes en gris.

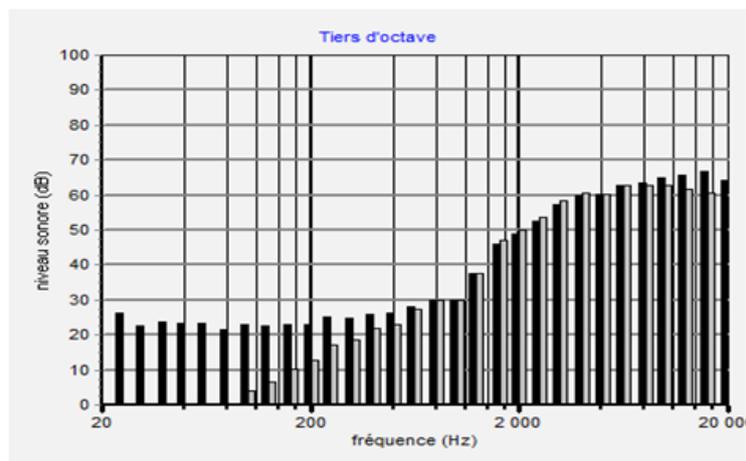


Figure 26 : Spectre sonore, en tiers d'octave (en gris dBA et en noir dB), de coton commercial en toile - marche

Tableau 6 : Niveau sonore global du bruit de frottement des étoffes - marche

étoffe	armure	niveau sonore moyen (dBA)	écart-type
coton	toile	61	1,48
polyamide	toile	68,8	0,48
polyamide /polyuréthane	toile	67,4	2,19
polyester	toile	59,6	1,52
soie	toile	59,2	1,10
polyamide	satin3	59,8	0,84
coton	satin5	58,4	4,34
lin	toile	54	1,73
non-tissé	-	60	1,58
polyester	satin3	57,6	2,61

Tableau 7 : Niveau sonore global du bruit de frottement des étoffes - course

étoffe	armure	niveau sonore moyen (dBA)	écart type
coton	toile	61,4	0,89
polyamide	toile	69	0,71
polyamide /polyuréthane	toile	68,6	0,86
polyester	toile	60,2	0,45
soie	toile	58,8	1,79
polyamide	satins	60,8	0,84
coton	satins	60	1
lin	toile	56	0
non-tissés	-	57,4	1,14
polyester	satins	54,4	1,14

Pour comparer si les différences entre les étoffes en terme de niveau sonore global sont statistiquement significatives, nous avons effectué l'analyse de variance (ANOVA), le test de Student et le test LSD. Les tests statistiques ont été menés pour les deux armures disponibles, toile et satin, et pour chaque vitesse de frottement.

a) Comparaison du niveau sonore global pour les étoffes commerciales en toile pour la vitesse de marche

L'analyse de variance pour un facteur (l'étoffe) a été faite pour vérifier l'effet de la matière première sur le niveau sonore global du bruit de frottement.

Le Tableau 8 montre que l'effet de la matière première est significatif. Une différence significative existe entre le bruit des étoffes en armure toile de matières premières différentes.

Tableau 8 : ANOVA pour les étoffes commerciales en toile - marche

source	degré(s) de liberté	somme des carrés	carré moyen	rapport F	Prob. > F
étoffe	5	853,4	170,6	101,4	<,0001
résidus	24	40,4	1,68		
total	29	893,8			

D'après le tableau, nous constatons que $F_{cal} = 101,4 > F_{critique} = 2,62^*$ et le test est significatif.

* $F_{critique}$ obtenu selon les degrés de liberté (5 et 24) dans le tableau de Fisher.

Pour comparer les paires d'étoffes, nous avons effectué le test de Student pour $T = 2,059$ et $\alpha = 5\%$.

Ce test est présenté dans la Figure 27.

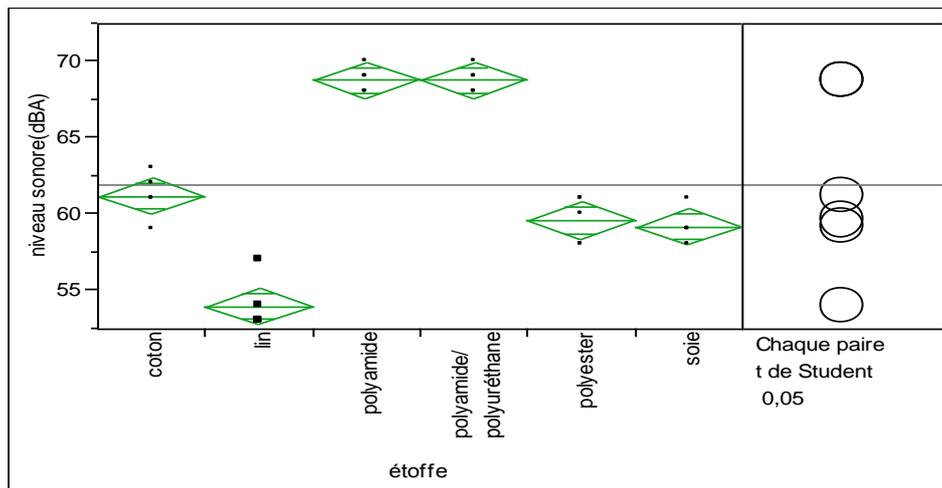


Figure 27 : Test t Student pour les étoffes commerciales en toile - marche

D'après cette figure, nous pouvons comparer chaque paire d'étoffes, visuellement, en examinant comment les cercles de comparaison se croisent. L'angle extérieur d'intersection des cercles nous indique si les moyennes de groupe sont significativement différentes. Les cercles qui sont sensiblement différents, soit ne croisent pas ou se croisent légèrement de sorte que l'angle extérieur d'intersection est inférieur à 90° . Si l'angle est supérieur à 90° ou si les cercles sont emboîtés, les moyennes ne sont pas significativement différentes.

Nous constatons qu'il n'y pas de différence significative entre le polyamide et le polyamide/polyuréthane (les cercles sont emboîtés). Le polyester et la soie présentent un niveau sonore très proche où les cercles se croisent avec un angle plus important que 90° . Le coton et la soie sont légèrement différents avec une différence significative. Le lin est significativement différent des autres étoffes par son niveau sonore global.

Pour quantifier la différence significative entre les étoffes, nous avons effectué le test LSD. LSD présente la distance entre les centres des cercles intersectés par un angle droit de 90° . Dans le tableau suivant, nous calculons la différence entre la différence absolue, la différence entre les moyennes obtenues, et la différence la moins significative (LSD). Les valeurs positives en gris nous indiquent les paires d'étoffes pour lesquels il y a une différence significative de niveau du bruit de frottement.

Tableau 9 : Test LSD pour les étoffes commerciales en toile- marche

étoffe \ étoffe	polyamide	polyamide/ polyuréthane	coton	polyester	soie	lin
polyamide	-					
polyamide/polyuréthane	- 0,6	-				
coton	5,6	4,2	-			
polyester	7,5	6,15	- 0,04	-		
soie	7,6	6,2	0,1	- 1,78	-	
lin	12,8	11,4	5,2	3,4	3,2	-

Le Tableau 9 confirme notre observation de la Figure 27 :

- Les étoffes en polyamide et en polyamide/polyuréthane sont significativement différentes des autres étoffes. Il n'y a pas de différence significative entre ces deux étoffes avec des niveaux sonores similaires de 68,8 dBA et de 67,4 dBA respectivement.
- Le lin est significativement différent des autres étoffes avec le niveau sonore le moins important (54 dBA).
- il n'y a pas de différence significative entre les étoffes en soie et polyester ; les niveaux sonore sont très similaires ; de 59,2 dBA et de 59,6 dBA respectivement. Par contre, il y a une différence légèrement significative entre les étoffes en coton et en soie avec un niveau sonore plus important pour l'étoffe en coton (61 dBA).

b) Comparaison du niveau sonore global pour les étoffes en toile pour la vitesse de course

Par la même méthode, nous avons vérifié si le test est significatif (Tableau 10). Nous avons comparé visuellement la différence des moyennes de chaque paire d'étoffes (Figure 28) et nous avons quantifié cette différence par le test LSD (Tableau 11).

Tableau 10 : ANOVA des étoffes commerciales en toile - course

source	degré(s) de liberté	somme des carrés	carré moyen	rapport F	Prob. > F
étoffe	5	708,6	141,7	154,6	<,0001
résidus	24	22	0,917		
total	29	730,6			

D'après le Tableau 10, nous constatons que $F_{cal}=154,6 > F_{critique} = 2,62$ et le test est significatif.

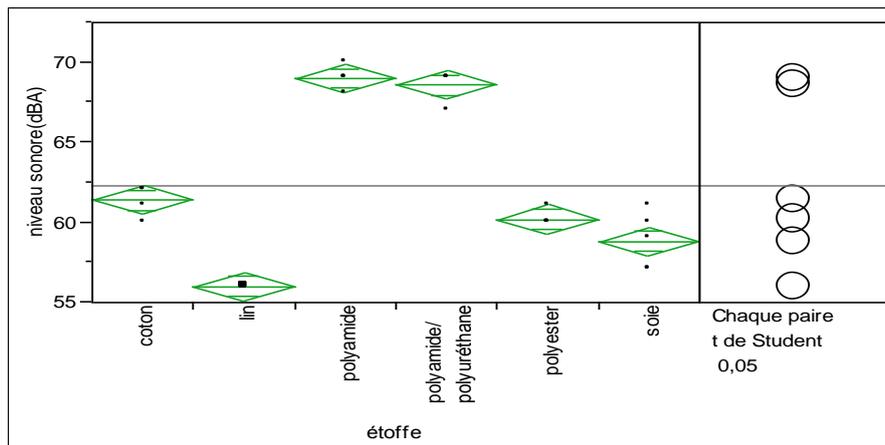


Figure 28 : Test t Student pour les étoffes commerciales en toile – course

Tableau 11 : Test LSD pour les étoffes commerciales en toile - course

étoffe \ étoffe	polyamide	polyamide/ polyuréthane	coton	polyester	soie	lin
polyamide	-					
polyamide/polyuréthane	-0,8	-				
coton	6,3	5,9	-			
polyester	7,5	7,15	-0,05	-		
soie	8,9	8,5	1,35	0,15	-	
lin	11,7	11,3	4,15	2,9	1,5	-

D'après la Figure 28 et le Tableau 11, nous constatons une différence significative entre le bruit des étoffes en polyamide, polyamide/polyuréthane et les bruits des autres étoffes. Le bruit de l'étoffe en lin est significativement différent des autres étoffes. Le bruit de l'étoffe en soie est significativement différent du bruit de celles de polyester et de coton ; le bruit de l'étoffe en soie est la moins important avec un niveau sonore de 58,8 dBA. Il n'y a pas de différence significative entre le bruit des étoffes en coton et en polyester, pour l'armure toile, pour la vitesse de course. Les niveaux sonores des bruits de ces deux étoffes sont respectivement de 61,4 dBA et de 60,2 dBA.

- Si l'on compare les niveaux sonores, dans les Tableau 6 et Tableau 7, des étoffes d'armure toile pour les deux vitesses de frottement, nous trouvons que le niveau sonore varie en fonction de la vitesse de frottement. Le niveau sonore pour la vitesse de course est légèrement supérieur à celui de la vitesse de marche. Ces niveaux sonores pour les deux vitesses de frottement sont présentés dans la Figure 29.

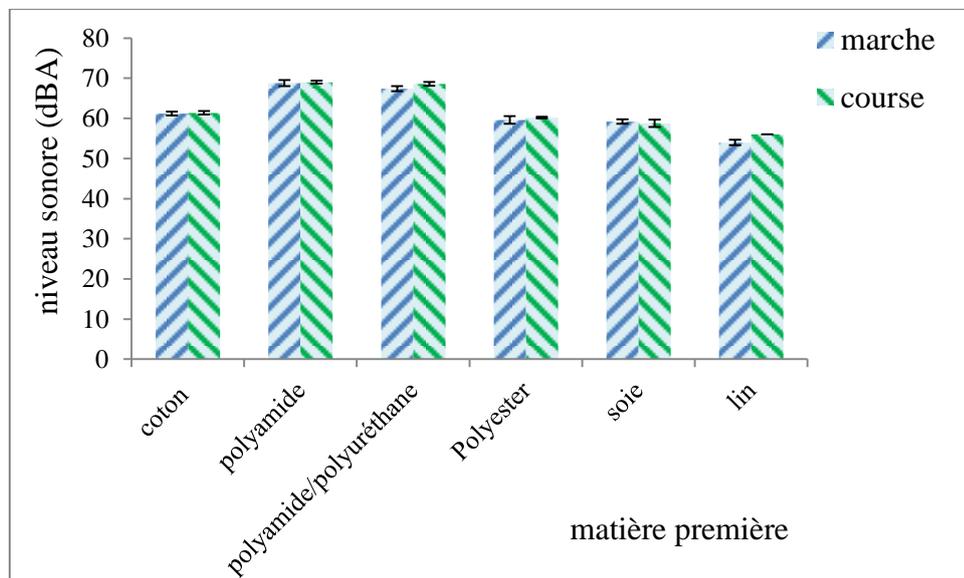


Figure 29 : Comparaison le niveau sonore global des étoffes d'armure toile pour les deux vitesses de frottement

Pour juger si cette différence est significative ou non, nous avons effectué le test LSD présenté dans le Tableau 12.

Tableau 12 : test LSD pour les niveaux sonores d'armure toile pour les deux vitesses de frottement

étouffe	polyamide	polyamide/polyuréthane	coton	polyester	soie	lin
test LSD	-1,429	-0,429	-1,429	-1,629	-1,292	0,371

D'après le Tableau 12, nous constatons qu'il n'y a pas une différence significative, pour chaque étouffe, entre les niveaux sonores d'armure toile pour les deux vitesses de frottement. Sauf l'étouffe lin d'armure toile qui présente une différence significative entre le niveau sonore du bruit de frottement généré pour les deux vitesses de frottement (marche et course). Le niveau sonore du bruit de cette étouffe généré à la vitesse de course est supérieur de 2 dBA à celui généré à la vitesse de marche.

- c) Comparaison du niveau sonore global pour les étouffes commerciales en satin pour la vitesse de marche

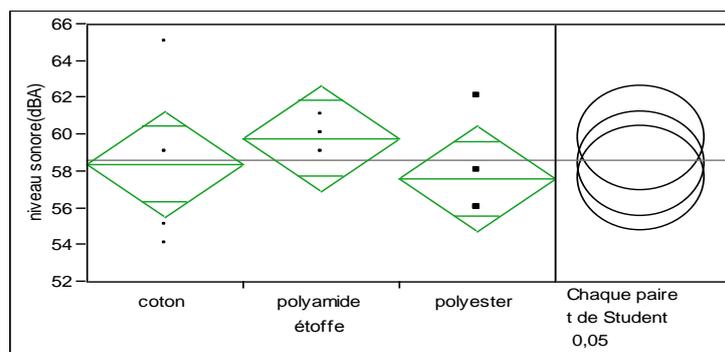
D'après le Tableau 13, nous trouvons que le modèle n'est pas significatif : il n'y a pas une différence significative entre le niveau sonore de bruits des étouffes en armure satin.

$$F_{\text{calc}} = 1,49 < F_{\text{critique}} = 3,89^*$$

Tableau 13 : ANOVA pour les étouffes commerciales en satin - marche

source	degré(s) de liberté	somme des carrés	carré moyen	rapport F	Prob. > F
étouffe	2	16,13	8,06	1,49	0,265
résidus	12	65,2	5,4		
total	14	81,33			

* F_{critique} pour les degrés de liberté (2 et 12) selon le tableau de Fisher.

**Figure 30 : Test t Student pour les étouffes commerciales en satin – marche****Tableau 14 : Test LSD pour les étouffes commerciales en satin - marche**

étouffe \ étouffe	polyamide	coton	polyester
polyamide	-		
coton	-1,01	-	
polyester	-1,01	-3,21	-

D'après la Figure 30 et le Tableau 14, nous constatons qu'il n'y a aucune différence significative entre les étouffes en satin en terme de niveau sonore global pour la vitesse de marche.

d) Comparaison le niveau sonore global pour les étoffes commerciales en satin pour la vitesse de course

Le test d'analyse de variance nous indique qu'il y a une différence significative entre les étoffes pour le niveau sonore global généré à la vitesse de course.

Tableau 15 : ANOVA pour les étoffes commerciales en satin - course

source	degré(s) de liberté	somme des carrés	carré moyen	rapport F	Prob. > F
étoffe	2	126,5	63,26	67,7	<,0001
résidus	12	11,2	0,93		
total	14	137,7			

$F_{\text{calc}} > F_{\text{critique}}$ et le test est significatif.

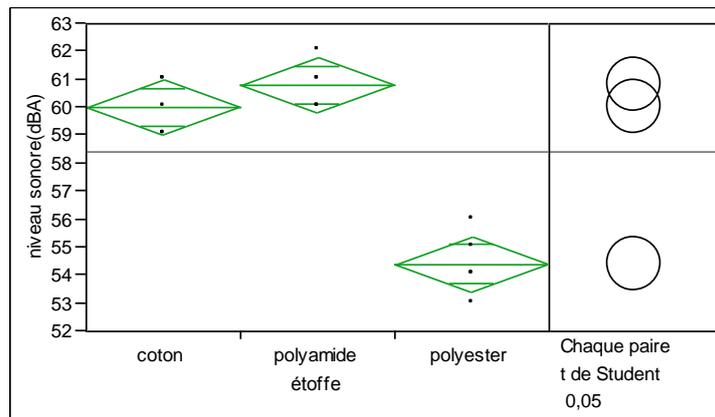


Figure 31 : Test t Student pour les étoffes commerciales en satin – course

Tableau 16 : Test LSD pour les étoffes commerciales en satin - course

étoffe \ étoffe	polyamide	coton	polyester
polyamide	-		
coton	-0,33	-	
polyester	5,26	4,26	-

Nous trouvons dans le Tableau 16 et dans la Figure 31 que le bruit de frottement de l'étoffe en polyester est significativement différent de celui-ci des étoffes en coton et en polyamide. Le bruit de polyester est moins important pour la vitesse de course avec un niveau sonore de 54,4 dBA.

- De même manière que précédemment, on compare entre les niveaux sonores des étoffes d'armure satin pour les deux vitesses de frottement. Cette comparaison est présentée dans la Figure 32.

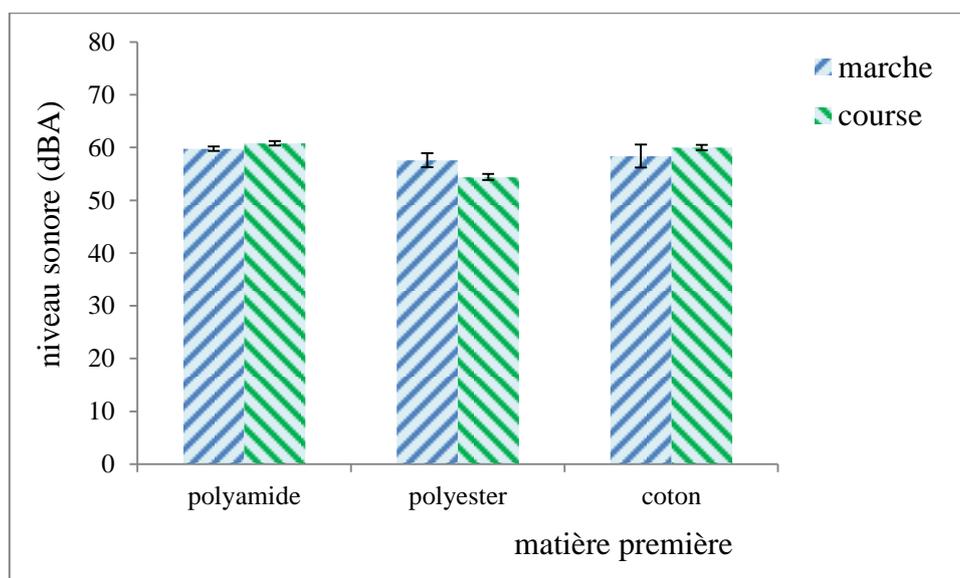


Figure 32 : Comparaison le niveau sonore global des étoffes d'armure satin pour les deux vitesses de frottement

D'après cette figure, nous observons que le niveau sonore des étoffes en polyamide et coton augmente pour la vitesse de course, tandis qu'il diminue pour l'étoffe en polyester. Cette variation est significative pour l'étoffe en polyester selon le test LSD présenté dans le Tableau 17. Le bruit de l'étoffe polyester est de 57,6 dBA pour la vitesse de marche et de 54,4 dBA pour la vitesse de course.

Tableau 17 : Test LSD pour les niveaux sonores des étoffes d'armures satin pour les deux vitesses de frottement

étoffe	polyamide	coton	polyester
test LSD	-1,884	-1,284	0,315

e) Comparaisons des niveaux sonores des armures toile et satin pour les deux vitesses de frottement

Les niveaux sonores des étoffes en polyamide, polyester et coton pour les deux armures toile et satin, pour les deux vitesses de frottement, sont présentés dans la Figure 33. Nous constatons que le niveau sonore des étoffes d'armure toile est plus important que celui des étoffes d'armure satin. Ceci est clair pour les deux vitesses de frottement. Cette différence est significative, pour la vitesse de marche, pour l'étoffe en polyamide tandis qu'elle n'est pas significative pour les étoffes en coton et polyester. L'étoffe polyamide donne un bruit, pour la vitesse de marche, avec un niveau sonore de 68,8 dBA pour l'armure toile ; tandis qu'il est de 59,8 dBA pour l'armure satin. La différence des niveaux sonores est significative, pour la vitesse de course, pour toutes les étoffes comme cela est présenté dans le Tableau 18.

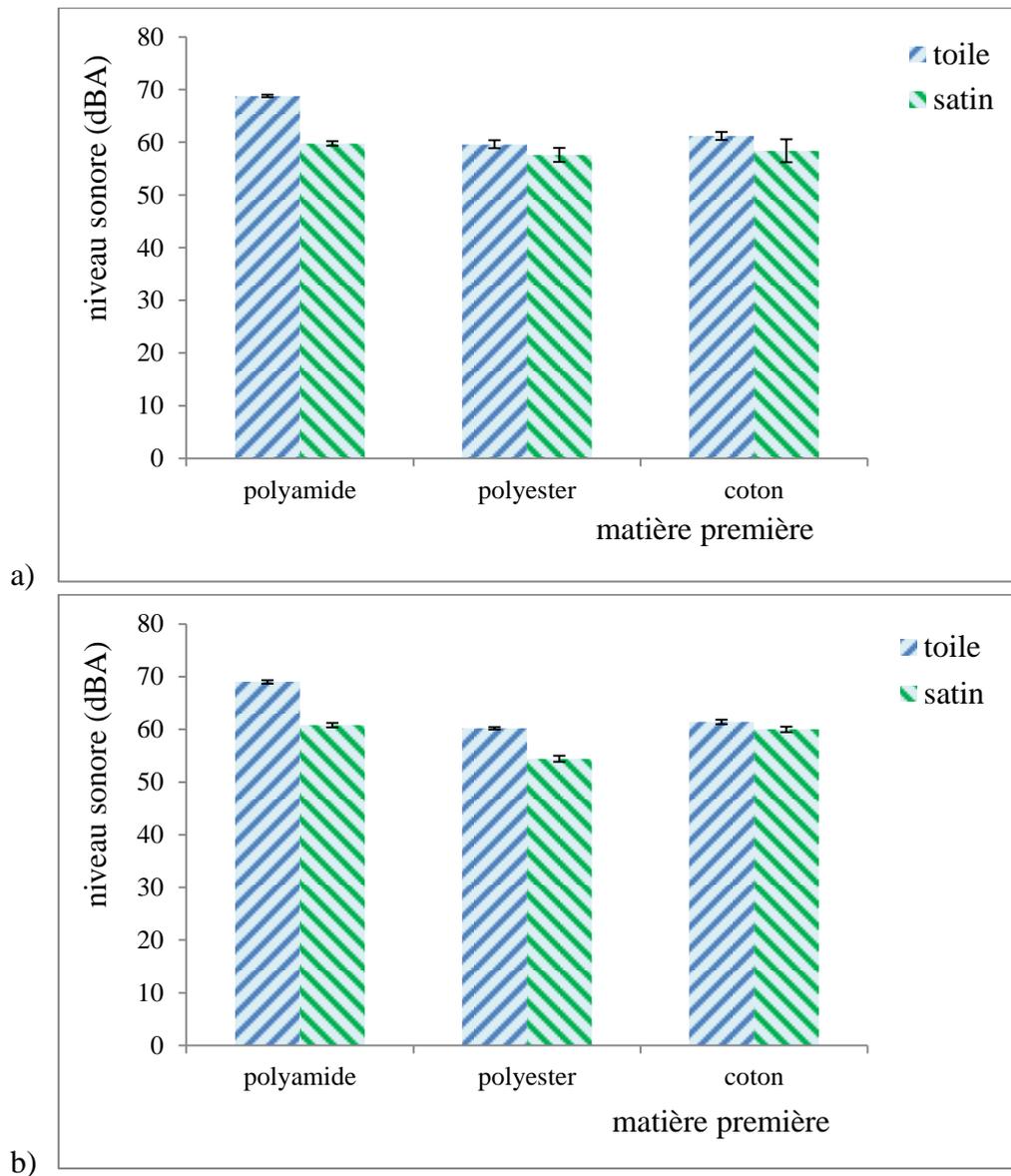


Figure 33 : Comparaison du niveau sonore global entre la toile et le satin : a- marche b- course

Tableau 18 : Test LSD du niveau sonore des armures toile et satin pour les deux vitesses de frottement

éttoffe	polyamide		coton		polyester	
vitesse de frottement	marche	course	marche	course	marche	course
test LSD	6,009	7,070	-0,191	0,270	-0,991	4,670

Les valeurs en gris indiquent que le test est significatif.

On peut conclure que les étoffes d'armure toile sont plus bruyantes que celles qui sont en satin. Ceci peut être expliqué par l'état de surface des différentes armures : les fils de chaîne et de trame sont plus enchevêtrés au milieu de la structure d'armure toile, les points d'intersection sont plus importants dans la zone de surface de frottement, ce qui donne la possibilité de générer des vibrations plus importantes et par la suite des ondes sonores avec une énergie plus importantes.

18.2.2 Amplitude du maximum du spectre sonore

Nous avons mesuré l'amplitude du maximum L_m du spectre sonore du bruit de frottement des étoffes. En même temps, nous avons cherché la fréquence f_m correspondante. Ce paramètre nous permettra de comparer le pic du spectre sonore des bruits des étoffes par la valeur du maximum et de la fréquence associée et par la suite de juger le pic du bruit le plus perceptible. Un seul enregistrement du bruit de frottement a été pris en compte pour cette analyse. C'est cet enregistrement qui va être écouté par les sujets²⁹ dans le cadre de l'évaluation sensorielle du bruit de frottement des étoffes. Le Tableau 19 présente l'amplitude maximum du bruit de frottement des étoffes avec la fréquence correspondante pour un seul test pour les deux vitesses de frottement.

Tableau 19 : Amplitude du maximum de spectre sonore des étoffes commerciales

étoffe	armure	amplitude du maximum (dBA)		fréquence du maximum (kHz)	
		marche	course	marche	course
coton	toile	40	40	2,45	3,64
polyamide	toile	45	49	3,57	4,35
polyamide /polyuréthane	toile	44	46	3,43	6,46
polyester	toile	41	33	2,35	2,05
soie	toile	40	46	4,18	3,17
polyamide	satin3	34	36	7,72	8,04
coton	satin5	48	41	1,49	2,35
lin	toile	39	38	2,35	2,31
non-tissé	-	40	40	1,82	1,82
polyester	satin3	44	43	1,82	2,31

A partir du Tableau 19, nous observons que l'amplitude du maximum et la fréquence correspondante varient en fonction de la vitesse de frottement. Ainsi par exemple, l'amplitude du maximum L_m , pour la vitesse de la course, est plus importante pour l'étoffe polyamide d'armure toile, mais elle est moins importante pour l'étoffe en coton d'armure satin 5 que l'amplitude maximum pour la vitesse de la marche. Même si l'étoffe polyamide d'armure toile présente une amplitude du maximum (49 dBA) plus importante que l'étoffe coton d'armure satin 5 (41dBA), les fréquences correspondantes 4,35 kHz et 2,35 kHz respectivement conduisent à conclure que le bruit de frottement de l'étoffe en coton avec l'armure satin 5 est plus perceptible. Il sera donc plus gênant pour l'oreille humaine. Ceci peut être expliqué par la sensibilité de l'oreille au maximum du spectre sonore de l'étoffe commerciale en coton d'armure satin 5. La fréquence correspondant au pic du spectre de cette étoffe tombe dans la zone des fréquences moyennes. Cette conclusion a été confirmée lors de l'évaluation sensorielle du bruit de frottement des étoffes. Les sujets ont trouvé que le bruit de l'étoffe coton en satin 5, lors de la phase d'entraînement du panel, était gênant et inconfortable. Ceci est surtout remarqué à la vitesse de marche où le maximum du spectre sonore, soit 48 dBA, se trouve à 1,49 kHz. L'étoffe en polyester d'armure satin 3 présente une amplitude du maximum importante avec une fréquence moyenne perceptible, soit 1,82 kHz. Cette fréquence devient plus importante pour la vitesse de course. L'étoffe polyester d'armure toile présente une

amplitude maximum moins importante que celle des étoffes polyamide et coton pour la même armure, mais avec des fréquences plus perceptibles par l'oreille (autour de 2 kHz). Les pics des spectres sonores des étoffes en coton et polyester se trouvent à des fréquences plus perceptibles que les étoffes en polyamide. L'étoffe en polyamide avec une armure satin 3 présente une amplitude de maximum à une fréquence plus importante (autour de 8 kHz).

On peut aussi noter qu'il n'y pas une tendance précise pour la fréquence du maximum de spectre sonore en fonction de la vitesse de frottement. Par exemple, l'étoffe en coton présente une fréquence plus importante pour la vitesse de la course, tandis que la fréquence est moins importante pour l'étoffe en soie. L'étoffe en lin d'armure toile présente une amplitude du maximum, avec une fréquence correspondante, très similaire pour les deux vitesses de frottement. L'étoffe non-tissé présente la même amplitude du maximum, avec la même fréquence, pour les deux vitesses de frottement.

18.2.3 Plage de l'amplitude du spectre sonore

Ce paramètre a été calculé pour un seul enregistrement du bruit de frottement, l'enregistrement utilisé pour calculer L_m . Ce paramètre nous donne une indication de la répartition de l'amplitude du bruit de frottement des étoffes sur le spectre. Quand ΔL est grand, cela signifie que l'énergie acoustique est répartie sur tout le spectre. Dans ce cas le bruit pourrait être perçu comme homogène et monotone. Par contre, si ΔL est faible, l'énergie du bruit est concentrée autour de l'amplitude du maximum. Dans ce cas le bruit est perçu comme agressif.

Le Tableau 20 montre les étoffes classées dans l'ordre décroissant en fonction de leur plage d'amplitude pour les deux vitesses de frottement.

Tableau 20 : Plage de l'amplitude des étoffes commerciales

marche			course		
étoffe	armure	ΔL (dBA)	étoffe	armure	ΔL (dBA)
polyamide /polyuréthane	toile	27	polyamide /polyuréthane	toile	26
polyamide	toile	26	polyamide	satin 3	26
polyamide	satin 3	26	coton	toile	24
coton	toile	24	polyamide	toile	24
non-tissé	-	23	non-tissé	-	22
soie	toile	22	coton	satin5	22
lin	toile	21	lin	toile	21
polyester	toile	21	polyester	toile	21
polyester	satin 3	21	polyester	satin3	20
coton	satin5	18	soie	toile	19

D'après le Tableau 20, nous constatons quelques différences entre le classement des étoffes pour les deux vitesses de frottement. L'étoffe en polyamide/polyuréthane d'armure toile est classée comme l'étoffe qui présente un bruit de frottement réparti sur tout le spectre, $\Delta L = 27$ dBA. Le bruit de frottement des étoffes en polyamide présente aussi une plage d'amplitude importante ($\Delta L=26$ dBA).

L'étoffe en coton d'armure satin 5 présente le ΔL le moins important pour la vitesse de la marche ($\Delta L = 18$ dBA). Le bruit de frottement de cette étoffe est considéré comme le bruit le plus agressif et le plus gênant. L'énergie du bruit de cette étoffe est concentrée sur son maximum. Ceci confirme ce que nous avons déjà vu dans le paragraphe précédent (§18.2.2). Le maximum du spectre de ce bruit se trouve à 1,49 kHz dans l'intervalle fréquentiel pour lequel les oreilles sont les plus sensibles. Le bruit de l'étoffe en soie d'armure toile est plus concentré pour la vitesse de course ; la plage d'amplitude $\Delta L = 19$ dBA est moins importante que pour la vitesse de marche $\Delta L = 22$ dBA. L'étoffe en lin d'armure toile présente la même plage d'amplitude pour les deux vitesses de frottement.

En général, nous observons que la plage d'amplitude du bruit de frottement des étoffes pour la vitesse de course est égale ou inférieure à celle correspondant à la vitesse de marche. Le bruit de frottement est plus concentré et moins homogène pour la vitesse de course et par la suite il est plus énergique et disharmonique.

18.2.4 Domaine fréquentiel du bruit de frottement des étoffes

Dans ce paragraphe, nous allons étudier la bande passante et la différence fréquentielle pour chaque spectre sonore. Nous avons traité le même enregistrement de bruit que celui déjà analysé précédemment.

18.2.4.1 La bande passante du spectre sonore

Ce paramètre nous permet d'estimer la largeur du spectre sonore sur laquelle l'énergie acoustique est répartie. La bande passante est calculée pour le domaine fréquentiel qui assure l'amplitude de maximum du spectre – 10 dB.

D'après le Tableau 21, nous trouvons que le bruit de frottement attribué à chaque étoffe présente une bande passante différente des autres étoffes. Le bruit généré à la vitesse de marche a une seule bande passante sauf pour les étoffes en polyester et en lin d'armure toile où nous constatons deux bandes passantes dans le domaine fréquentiel du spectre sonore. Par contre, le bruit généré pour la vitesse de la course peut présenter deux et trois bandes passantes. Par exemple, l'étoffe en polyamide d'armure toile présente un spectre à 3 bandes passantes pour la vitesse de course ; tandis que le spectre est d'une seule bande passante à la vitesse de marche. Ceci peut s'expliquer par le fait que le spectre sonore du bruit généré à la vitesse de course est plus fluctuant et moins homogène. On peut aussi observer des étoffes qui présentent une seule bande passante pour les deux vitesses de frottement comme l'étoffe en polyester d'armure satin 3, par exemple. La largeur de la bande passante et son importance pour la perception du bruit seront discutées dans le paragraphe suivant.

Tableau 21 : Bande passante du bruit de frottement des étoffes

étoffe	armure	bande passante (kHz)	
		marche	course
coton	toile	[1,34 - 10,7]	[1,68 - 9,24]
polyamide	toile	[2,28 - 14,6]	[1,64 - 1,87] [2,1 - 10,6] [11,2 - 12,9]
polyamide /polyuréthane	toile	[1,42 - 16,1]	[1,42 - 16]
polyester	toile	[1,23 - 5,36] [6,7 - 7,8]	[1,27 - 4,44] [6,9 - 7,8]
soie	toile	[1,42 - 7,5]	[2,9 - 4,3]
polyamide	satin3	[1,07 - 14,4]	[1,18 - 13,6]
coton	satin5	[1,01 - 4,22]	[1,27 - 4,5] [7,1 - 7,6]
lin	toile	[1,18 - 6,3] [7,2 - 7,9]	[1,07 - 5,3]
non-tissé	-	[1,23 - 8,4]	[1,25 - 8,3]
polyester	satin3	[1,03 - 5,8]	[1,23 - 5,9]

Les bandes passantes obtenues dans le Tableau 21 sont présentées par des traits successifs dans la Figure 34. La fréquence du maximum du spectre sonore obtenue dans le Tableau 19 est présentée par des gros points positionnés sur la bande fréquentielle (Figure 34).

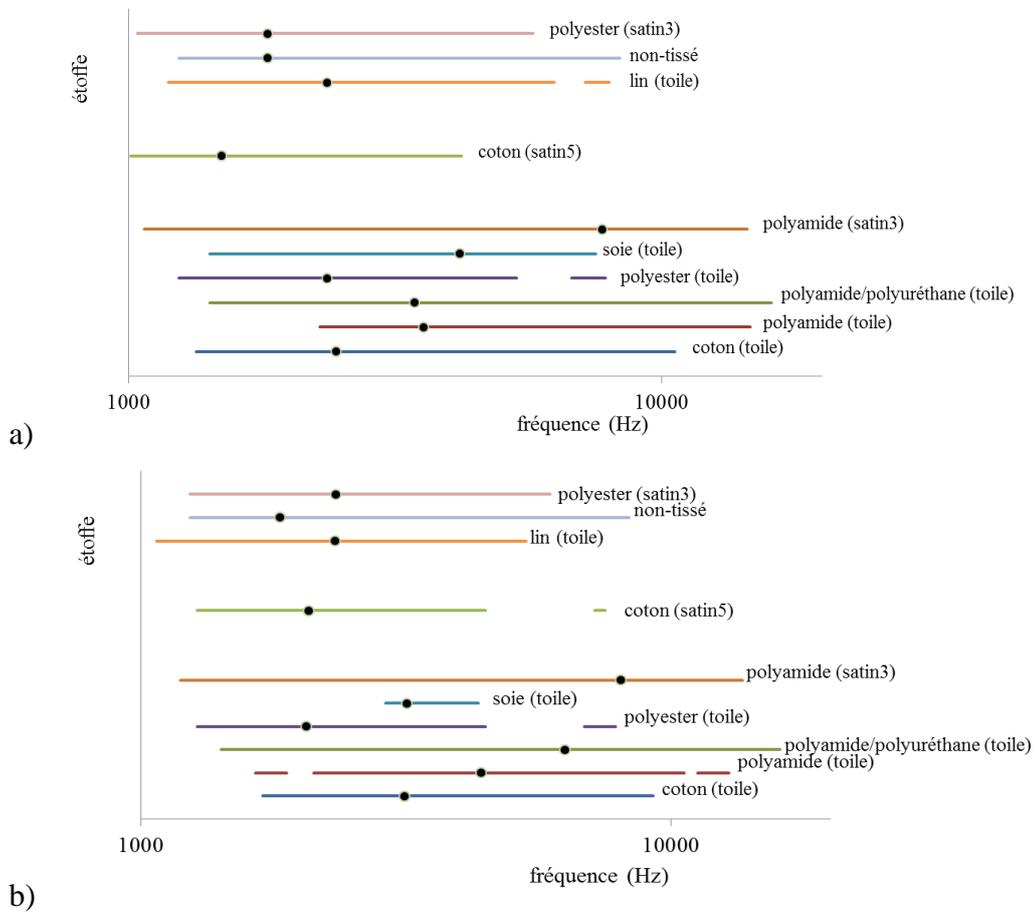


Figure 34 : Bande passante du bruit des étoffes : a-marche b-course

D'après le Tableau 21 et la Figure 34, nous constatons que l'étoffe polyamide d'armure satin 3 et l'étoffe en polyamide/polyuréthane d'armure toile présentent un bruit avec une bande fréquentielle la plus large pour les deux vitesses de frottement. L'étoffe en coton d'armure satin 5 présente un bruit avec une bande passante la moins large pour la vitesse de marche alors que l'étoffe en soie d'armure toile présente un bruit de bande passante très étroite à la vitesse de course.

18.2.4.2 Différence fréquentielle du spectre sonore

Ce paramètre est obtenu à partir de la bande passante en appliquant l'équation 34 (§17.4).

Ce rapport fréquentiel nous permet de quantifier la différence fréquentielle entre les limites inférieure et supérieure de la bande passante. Quand Δf est grand, le bruit devrait être ni grave, ni aigu. Quand Δf est faible, le bruit des étoffes est considéré comme un bruit agressif. Le Tableau 22 nous montre le classement des étoffes dans l'ordre décroissant de différence fréquentielle pour les deux vitesses de frottement.

Tableau 22 : Différence fréquentielle du spectre sonore des étoffes commerciales

marche			course		
étoffe	armure	Δf	étoffe	armure	Δf
polyamide	satin 3	13,46	polyamide	satin 3	11,53
polyamide /polyuréthane	toile	11,27	polyamide /polyuréthane	toile	11,27
coton	toile	7,99	polyamide	toile	7,87
non-tissé	-	6,83	non-tissé	-	6,64
lin	toile	6,69	polyester	toile	6,14
polyester	toile	6,50	coton	satin 5	6,03
polyamide	toile	6,40	coton	toile	5,50
polyester	satin 3	5,63	lin	toile	4,95
soie	toile	5,28	polyester	satin 3	4,80
coton	satin 5	4,18	soie	toile	1,48

D'après le Tableau 22, nous constatons que la différence fréquentielle, en générale, est plus petite pour la vitesse de course et la bande passante est alors plus étroite. L'énergie acoustique est plus concentrée dans le domaine fréquentiel pour la vitesse de course et le bruit est considéré plus agressif. Δf est plus important pour le bruit des étoffes en polyamide d'armure satin 3 et en polyamide/polyuréthane d'armure toile. Δf pour l'étoffe en coton avec l'armure satin 5 est le moins important pour la vitesse de marche tandis qu'il est le moins importante pour l'étoffe en soie avec l'armure toile pour la vitesse de course.

On suggère de classer les bruits en trois groupes selon un seuil arbitraire :

- Domaine fréquentiel large $\Delta f > 8,5$ qui correspond à $f_{\max} > 8,5 \times f_{\min}$
- Domaine fréquentiel moyen $6 < \Delta f < 8,5$
- Domaine fréquentiel étroit $\Delta f < 6$ qui correspond à $f_{\max} < 6 \times f_{\min}$

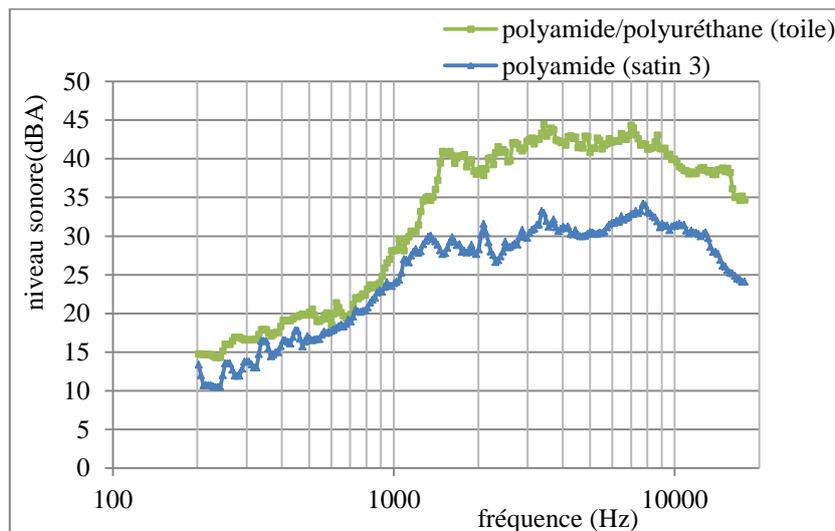
Le classement des bruits des étoffes, dans le domaine fréquentiel, est signalé par le couleur en gris dans le Tableau 23.

Tableau 23 : Classement le bruit de frottement des étoffes dans le domaine fréquentiel

étoffe	armure	marche			course		
		domaine fréquentiel			domaine fréquentiel		
		étroit	moyen	large	étroit	moyen	large
coton	toile						
polyamide	toile						
polyamide /polyuréthane	toile						
polyester	toile						
soie	toile						
polyamide	satin 3						
coton	satin 5						
lin	toile						
non-tissé	-						
polyester	satin 3						

D'après le Tableau 23, nous trouvons que les bruits de frottement des étoffes en polyamide d'armure satin 3 et en polyamide/polyuréthane d'armure toile sont classés comme des bruits avec un domaine fréquentiel large pour les deux vitesses de frottement. Le bruit de frottement de l'étoffe en soie d'armure toile et l'étoffe en polyester d'armure satin 3 est classé comme un bruit avec un domaine fréquentiel étroit pour les deux vitesses de frottement. Le bruit de frottement de l'étoffe en coton d'armure satin 5 présente un domaine fréquentiel étroit et moyen à la vitesse de marche et course respectivement. Ce comportement est opposé à celui de l'étoffe en coton d'armure toile qui présente un domaine fréquentiel moyen à la vitesse de la marche et un domaine fréquentiel étroit à la vitesse de course.

Les Figures 35, 36 et 37 montrent les spectres sonores (FFT) des bruits de frottement des étoffes commerciales générés à la vitesse de marche. Ces spectres sont présentés selon le classement obtenu : large, moyen, étroit.

**Figure 35 : Spectre sonore des bruits de bande large ($Af > 8,5$) - marche**

Les deux étoffes en polyamide/polyuréthane d'armure toile et en polyamide d'armure satin 3 présentent un spectre sonore avec une allure acoustique similaire en terme de forme, mais avec une

amplitude importante, pour l'étoffe en polyamide/ polyuréthane, surtout pour les moyennes et les hautes fréquences.

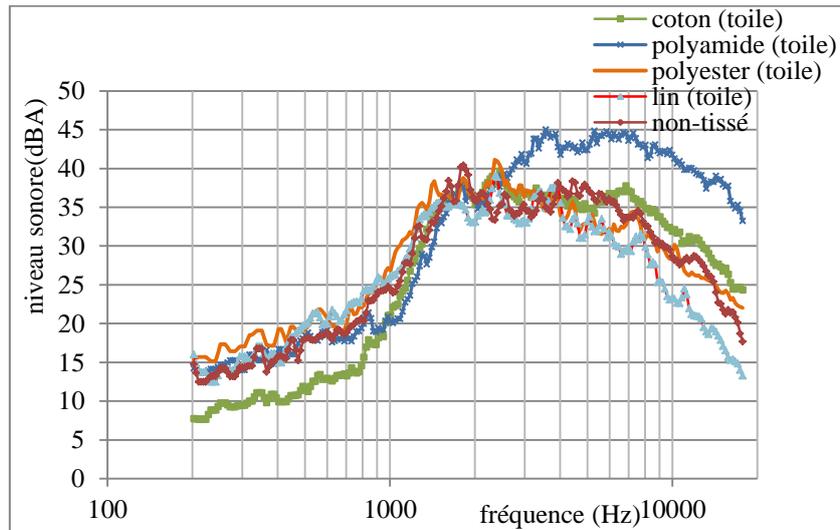


Figure 36 : Spectre sonore des bruits de bande moyenne ($6 < \Delta f < 8,5$) – marche

D'après la Figure 36, nous pouvons observer que le spectre sonore des bruits de bande moyenne est similaire en allure avec une différence d'amplitude. L'étoffe en polyamide d'armure toile présente un spectre avec une amplitude plus importante pour les moyennes et les hautes fréquences. Le spectre sonore du bruit de l'étoffe en coton d'armure toile, pour des fréquences de moins de 1 kHz, présente une amplitude moins importante que celui de l'étoffe en polyester d'armure toile. Pour des fréquences plus importantes, l'étoffe en coton présente un spectre avec une amplitude plus importante. Les spectres des étoffes en polyester et en lin, pour l'armure toile, sont très similaires pour les basses et les moyennes fréquences.

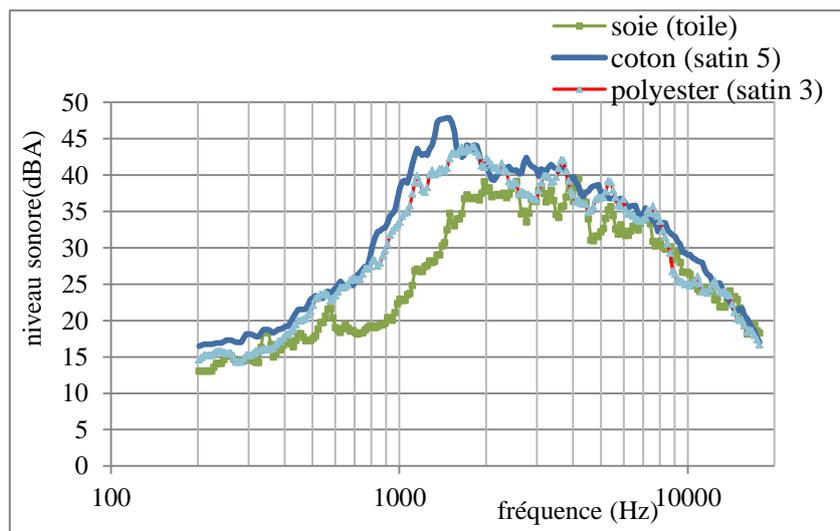


Figure 37 : Spectre sonore des bruits de bande étroite ($\Delta f < 6$) – marche

D'après la Figure 37, nous observons que les étoffes (coton, polyester, soie) avec un bruit de bande étroite ont une allure acoustique similaire surtout pour les fréquences les plus importantes. On peut

bien remarquer le pic du spectre sonore de l'étoffe en coton d'armure satin 5. Ce pic se trouve à 1,49 kHz comme nous l'avons déjà vu. L'amplitude de spectre de l'étoffe en coton d'armure satin 5 est plus importante, surtout par comparaison avec le spectre de l'étoffe en soie. L'amplitude du spectre de l'étoffe en polyester d'armure satin 3 est plus importante que celle de l'étoffe en soie surtout pour les faibles et les moyennes fréquences.

Les Figures 38, 39 et 40 montrent les spectres sonores du bruit de frottement des étoffes dans le domaine fréquentiel obtenus pour la vitesse de course.

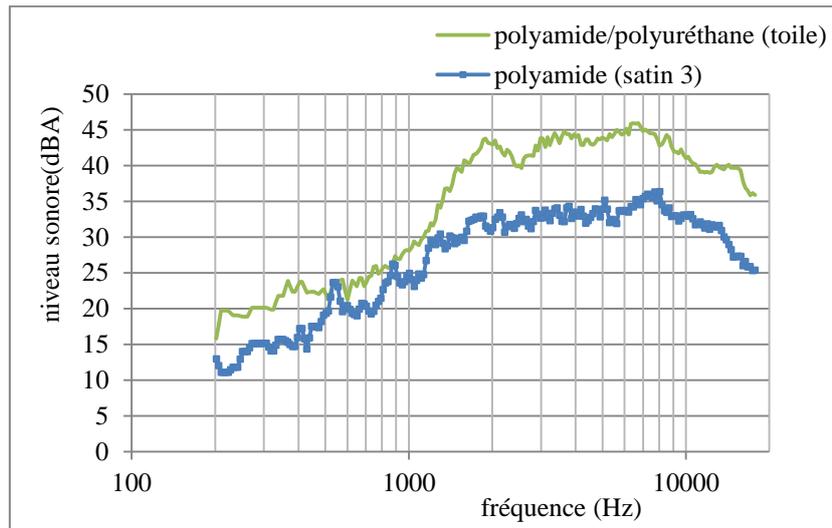


Figure 38 : Spectre sonore des bruits de bande large ($\Delta f > 8,5$) – course

Des observations similaires à la vitesse de marche peuvent être faites. La Figure 38 montre que le spectre sonore de l'étoffe en polyamide/polyuréthane présente une amplitude plus importante sur tout l'intervalle fréquentiel.

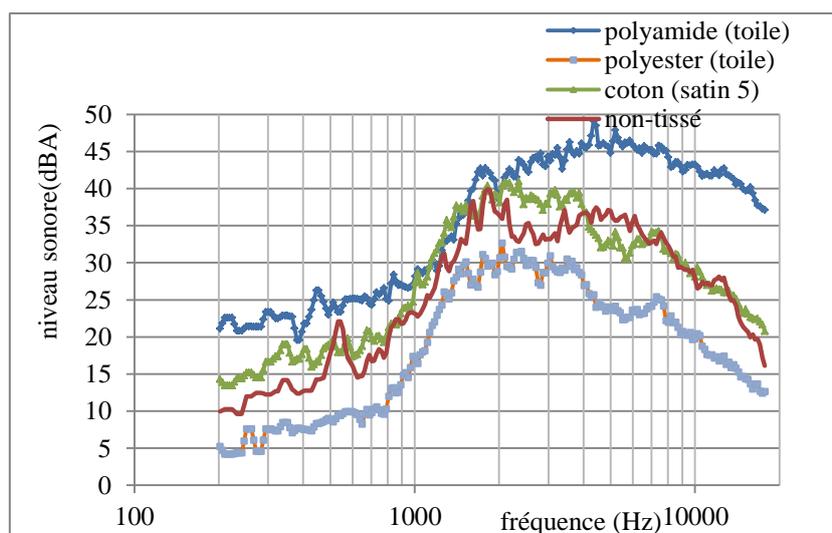


Figure 39 : Spectre sonore des bruits de bande moyenne ($6 < \Delta f < 8,5$) - course

Dans la Figure 39, l'étoffe en polyamide d'armure toile présente un spectre sonore avec une amplitude plus importante sur toute la bande passante, alors que l'étoffe en polyester d'armure toile

génère le bruit le moins important pour cette bande passante. L'étoffe en coton d'armure satin 5 et l'étoffe non-tissée ont des spectres sonores similaires avec une amplitude plus importante pour les basses et les moyennes fréquences pour l'étoffe en coton.

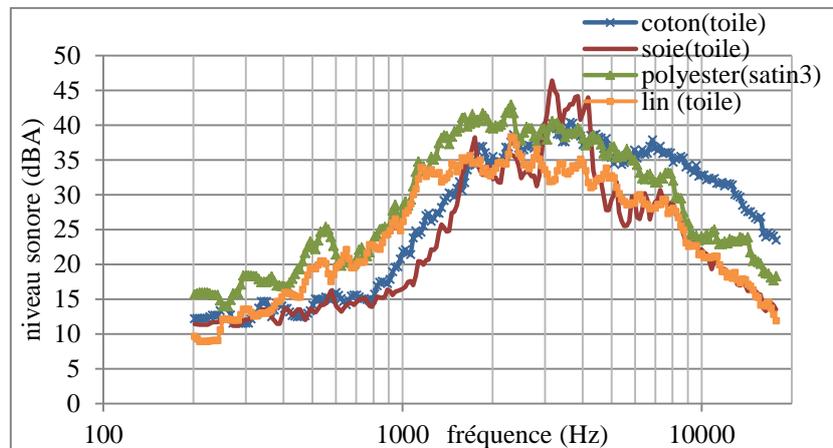


Figure 40 : Spectre sonore des bruits de bande étroite ($\Delta f < 6$) - course

La Figure 40 montre que le spectre sonore du bruit de frottement d'étoffe en polyester d'armure satin 3 présente une amplitude plus importante que le spectre des étoffes en coton et en soie d'armure toile pour les basses fréquences (inférieurs à 2,4 kHz). A 3 kHz, l'étoffe en soie d'armure toile présente un pic plus important. Pour les fréquences les plus importantes, le spectre sonore de l'étoffe en coton d'armure toile est d'amplitude plus importante. Pour les hautes fréquences, l'étoffe en coton est plus bruyante que les étoffes en soie et en polyester. L'étoffe en lin d'armure toile présente un spectre similaire à celui de l'étoffe en polyester d'armure satin 3 pour les basses et les moyennes fréquences. Pour les hautes fréquences le spectre de l'étoffe en polyester présente une amplitude plus importante que celui de l'étoffe en lin.

Si ΔL est grand et si Δf est grand aussi (comme pour les étoffes : polyamide en toile, polyamide/polyuréthane en toile, polyamide en satin 3): on est en présence de bruit ressemblant à des 'bourdonnements, chuchotement'.

18.2.5 Distance de ressemblance des bruits de frottement des étoffes commerciales

Afin de pouvoir comparer le degré de ressemblance des bruits de frottement des étoffes, nous proposons d'estimer une ressemblance spectrale en calculant la distance entre les deux spectres. La distance entre les spectres sonores de l'étoffe i et celui de l'étoffe j , qui représente la différence de l'amplitude tout au long du spectre sonore, est donnée par la formule suivante :

$$d(i, j) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^{k=N} (Spectre_i(k) - Spectre_j(k))^2} \quad \text{Équation 35}$$

Avec N : le nombre de points estimés du spectre de bruit entre 900 Hz et 12 kHz.

L'intervalle fréquentiel pour lequel nous avons effectué la distance de ressemblance a été obtenu en appliquant un filtre de pondération dBA. Plus la distance est faible, plus la ressemblance entre les spectres est importante.

La distance de ressemblance $d(i, j)$ entre le spectre d'une étoffe i et une étoffe j est présentée dans le Tableau 24 et le Tableau 25 pour la vitesse de marche et la vitesse de course respectivement. Nous proposons une valeur critique, soit $d(i, j) < 3,4$; en deçà laquelle nous considérons que les spectres sonores sont ressemblants. Cette valeur critique a été prise pour les spectres sonores qui présentent une ressemblance dans la zone pour laquelle les oreilles sont plus sensibles, et au même temps présentent des propriétés sonores similaires le plus possibles (niveau sonore, plage d'amplitude, fréquence de maximum). Selon les résultats précédents, les étoffes en coton, en polyester et en soie présentent des propriétés sonores similaires, donc la distance de ressemblance entre les spectres a été prise comme une valeur supérieure à la distance de ressemblance entre le coton et polyester d'armure toile que se trouve dans le Tableau 24. Les étoffes en polyamide, polyamide/polyuréthane d'armure toile présentent une ressemblance spectrale ($d = 1,96$) pour la vitesse de course. L'étoffe en coton d'armure satin 5 et l'étoffe en polyester d'armure satin 3 présentent une ressemblance spectrale pour les deux vitesses de frottement avec une distance de ressemblance de 2,97 et de 2,74 respectivement. Les étoffes en coton, polyester, soie avec l'armure toile présentent une ressemblance spectrale pour la vitesse de marche. Le spectre de l'étoffe en lin d'armure toile ressemble à celui des étoffes en polyester et en soie d'armure toile pour la vitesse de marche : la distance de ressemblance est de 2,86 et de 2,98 respectivement. Le spectre de l'étoffe non-tissé, à la vitesse de la marche, est proche à celui des étoffes en polyester, en coton et en soie avec l'armure toile tandis qu'il ressemble au spectre de l'étoffe en polyamide d'armure satin 3 à la vitesse de la course.

Tableau 24 : Distance de ressemblance des bruits de frottement des étoffes commerciales - marche

$d(i, j)$	polyamide (toile)	polyamide/polyuréthane (toile)	polyester (toile)	soie (toile)	polyamide (satin 3)	coton (satin5)	lin (toile)	non-tissé	polyester (satin 3)
coton (toile)	6,06	5,78	3,33	3,18	5,54	7,59	4,66	2,42	6,13
polyamide (toile)		3,72	8,65	8,46	9,78	10,32	10,13	7,38	9,81
polyamide/polyuréthane (toile)			7,30	8,14	10,02	7,23	9,31	6,75	7,37
polyester (toile)				3,10	5,68	5,84	2,86	2,86	4,28
soie (toile)					5,40	8,07	2,98	2,75	6,02
polyamide (satin 3)						10,58	5,18	5,15	9,02
coton (satin 5)							7,51	7,04	2,97
lin (toile)								3,53	5,45
non-tissé									5,23

Tableau 25 : Distance de ressemblance des bruits de frottement des étoffes commerciales - course

d (i, j)	polyamide (toile)	polyamide/polyuréthane (toile)	polyester (toile)	soie (toile)	polyamide (satin 3)	coton (satin5)	lin (toile)	non-tissé	polyester (satin 3)
coton (toile)	7,80	7,16	9,78	6,46	3,52	4,18	6,57	3,44	5,72
polyamide (toile)		1,96	17,34	13,34	10,06	9,25	12,88	9,62	9,57
polyamide/polyuréthane (toile)			16,45	12,67	9,23	8,17	11,91	8,71	8,53
polyester (toile)				6,62	8,09	9,19	6,24	8,23	10,25
soie (toile)					7,02	6,60	6,06	6,13	7,43
polyamide (satin 3)						4,97	5,56	3,31	6,65
coton (satin 5)							4,46	3,51	2,74
lin (toile)								4,45	4,71
non-tissé									4,43

18.2.6 Conclusion partielle

Le bruit de frottement des étoffes commerciales présentant différents titres de fil avec des armures différentes et des états de surface différents, a été analysé et les caractéristiques acoustiques ont été comparées :

- Chaque étoffe présente sa propre signature acoustique. L'étoffe garde la même allure de signature acoustique lorsqu'on compare les résultats obtenus à la vitesse de marche et à la vitesse de course, mais avec un spectre ayant une amplitude plus importante.
- Les étoffes en polyamide et en polyamide/polyuréthane d'armure toile présentent un bruit avec un niveau sonore plus important pour les deux vitesses de frottement. Il n'y a pas de différence significative entre les niveaux sonores des bruits de ces étoffes. Le bruit de ces étoffes est considéré comme '*bourdonnement, chuchotement*' avec une plage d'amplitude et une différence fréquentielle importantes. Les niveaux sonores des bruits de ces deux étoffes, pour les deux vitesses de frottement, sont significativement différents des autres étoffes.
- L'étoffe en coton d'armure toile est plus bruyante que les étoffes en polyester et en soie pour la même armure. Le bruit de frottement de l'étoffe en coton est plus homogène et plus monotone. Il n'y a pas de différence significative, à la vitesse de la marche, entre le niveau sonore des étoffes en polyester et en soie tandis que le bruit de l'étoffe en soie est significativement différent de celui des étoffes en coton, polyester à la vitesse de la course. Le niveau sonore du bruit de frottement de l'étoffe en soie est moins important, mais il se répartit sur un intervalle fréquentiel moins important ce qui rend ce bruit plus agressif.
- Le bruit des armures toile est plus important, plus agressif que celui des armures satin. La différence de niveau sonore des deux armures est significative à la vitesse de course.

- Il n'y a pas de différence significative, pour les deux vitesses de frottement, entre le niveau sonore des bruits des étoffes en coton, polyester avec l'armure toile. Le bruit de l'étoffe en polyamide est significativement différent de ces deux étoffes pour les deux vitesses de frottement.
- Il n'y a pas de différence significative, à la vitesse de marche, entre le niveau sonore des bruits des étoffes en coton, polyamide, polyester pour l'armure satin. L'étoffe en polyester est significativement différente à la vitesse de la course, elle présente un bruit avec un niveau sonore moins important.
- L'étoffe en polyamide, pour les deux armures toile et satin, présente un pic de spectre pour des fréquences plus importantes que celui des étoffes en coton et en polyester. L'étoffe en polyamide d'armure satin 3, par exemple, présente un pic autour de 8 kHz. Le bruit de cette étoffe est plus monotone et moins agressif.
- Le niveau sonore du bruit de frottement varie en fonction de la vitesse de frottement. Par exemple, le niveau sonore du bruit d'étoffe en lin d'armure toile augmente pour la vitesse de course d'une manière significative. Alors qu'il diminue d'une manière significative pour l'étoffe en polyester d'armure satin 3 pour la vitesse de course. Cette variation reste non significative pour les autres étoffes.
- L'étoffe en coton d'armure satin 5 présente une amplitude du maximum plus importante (48 dBA), à la vitesse de marche, avec une fréquence perceptible (1,49 kHz). Ce bruit est agressif.

18.3 ANALYSE DU BRUIT DE FROTTEMENT DES ETOFFES EN COTON ECRU

L'étude part sur un jeu de 7 étoffes en coton écru réalisées au laboratoire [11]. Dans le Tableau 5, nous avons présenté les caractéristiques de 4 étoffes (toile, chevron, sergé 3, satin 5), nous allons présenter les caractéristiques de trois nouvelles étoffes (crêpe, satin 4, sergé 4) fabriquées avec les mêmes titres de fil, de même indice de saturation déjà mentionnés (§17.3).

Tableau 26 : Caractéristiques des étoffes en coton écru avec les armures: crêpe, satin 4 et sergé 4

armure	comptage (fils/cm)	duitage (fil/cm)	masse surfacique (g/m ²)
crêpe	39	24,4	136
satin 4	38,1	26,6	142
sergé 4	38,4	26,6	140

La structure de ces armures est présentée dans la Figure 41.

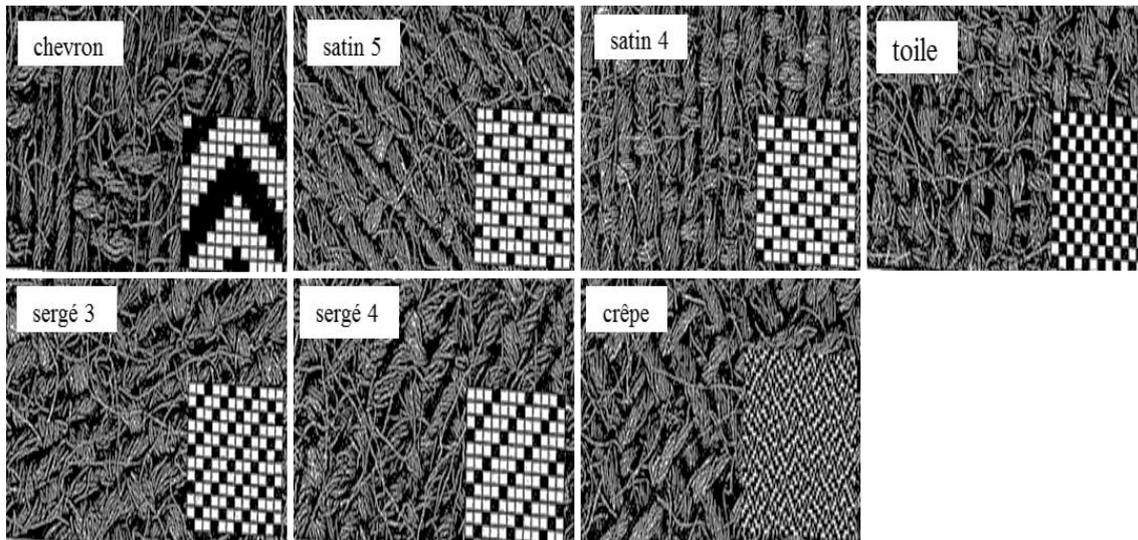


Figure 41 : Structures des armures en coton écreu [259]

Les propriétés sonores des armures en coton écreu pour les deux vitesses de frottement sont présentées dans les Tableaux 27 et 28.

Tableau 27 : Propriétés sonores des armures en coton écreu - marche

armure	bande fréquentielle (kHz)	L_g (dBA)		L_m (dBA)	f_{max} (kHz)	Δf	ΔL (dBA)
		moyenne	écart-type				
chevron	[1,14 - 10,3]	55,4	1,95	30	2,70	9,04	23
satin 5	[1,14 - 12,5]	53,4	1,14	29	3,79	10,96	24
satin 4	[2,09 - 14,6]	50,2	1,3	17	4,44	6,4	26
toile	[1,38 - 10]	54,8	2,17	32	2,93	7,25	23
sergé 3	[1,27 - 8,5][9,5 - 10,8]	57,2	1,46	34	1,65	8,50	22
sergé 4	[1,29 - 8,1][8,5 - 9,84]	51,6	0,89	30	4,18	8,4	24
crêpe	[1,31 - 10,2]	52,2	1,3	29	1,78	7,8	24

Tableau 28 : Propriétés sonores des armures en coton écreu - course

armure	bande fréquentielle (kHz)	L_g (dBA)		L_m (dBA)	f_{max} (kHz)	Δf	ΔL (dBA)
		moyenne	écart-type				
chevron	[1,2 - 7,04][7,7 - 9,6]	54,5	0,1	34	2,70	8	22
satin 5	[1,16 - 10,5]	54,2	0,84	31	4,1	9,05	24
satin 4	[1,68 - 1,94][2,3 - 14,5]	51,20	0,45	20	3,71	8,63	26
toile	[1,36 - 2,17][2,3 - 5,5]	55	0,48	35	2,99	4,04	22
sergé 3	[1,27 - 6,33][6,8 - 8,3]	59,2	0,45	39	1,82	6,54	22
sergé 4	[1,76 - 1,94][2,18 - 14,6]	52,4	0,89	38	1,78	8,37	21
crêpe	[1,34 - 5,5][6,7 - 7,8]	53,4	0,89	34	1,78	5,8	22

- A partir du Tableau 27 et du Tableau 28 nous trouvons que le niveau sonore global et le maximum du spectre sonore augmente légèrement pour la vitesse de course. Ceci peut être expliqué par la vitesse de frottement, la surface de frottement et la pression appliquée qui sont plus importants pour ce type du mouvement. Pour l'armure chevron, le niveau sonore

global diminue pour la vitesse de la course. L'armure sergé 3 présente le niveau sonore et le maximum d'amplitude le plus important pour les deux vitesses. Elle est de 57,2 dBA pour la vitesse de marche et de 59,2 pour la vitesse de course, avec un niveau sonore global, et une amplitude du maximum de 34 dBA et de 39 dBA pour la vitesse de marche et de course respectivement. Ceci peut être expliqué par la présence des lignes diagonales le long de l'armure ; ce qui donne la possibilité à la surface d'être plus rigide. Même si les points d'intersection des fils (trame et chaîne) sont en quantité plus importante pour l'armure toile, le niveau sonore de cette armure est moins important que celui du sergé 3 à cause des lignes diagonales qui donnent une meilleure couverture de structure et par la suite plus de vibrations et donc plus de bruit généré. L'armure sergé 4 est moins bruyante que le sergé 3 (avec un niveau sonore moins important) à cause des fils flottants dans la structure de l'armure sergé 4 et des points d'intersection moins nombreux ce qui rend l'armure sergé 4 moins rigide [12]. L'armure satin 4, qui est la moins bruyante, présente un niveau sonore de 50,2 dBA pour la vitesse de marche et 51,20 dBA pour la vitesse de course et une amplitude maximale de 17 dBA et de 20 dBA respectivement. L'armure satin, souple et lisse, présente moins de points d'intersection avec des fils flottants et mobiles ce qui rend la structure moins rigide et moins résistante [12]. Le niveau sonore des bruits des armures satin 4 et sergé 3 sont significativement différents des autres armures comme cela est présenté dans le paragraphe suivant (§18.3.1).

- La plage d'amplitude est moins importante pour la vitesse de course et le bruit généré devrait être moins homogène et moins monotone pour la course. Le satin 4, qui est le moins bruyant, présente la plage d'amplitude la plus importante, soit 26 dBA pour les deux vitesses de frottement. Le bruit de cette armure devrait être le plus homogène et le plus monotone. Le bruit de sergé 3 devrait être le moins homogène et le moins monotone avec une plage d'amplitude $\Delta L = 22$ dBA. L'énergie sonore n'est pas répartie sur la totalité du spectre, mais elle est concentrée autour de l'amplitude du maximum. Le bruit de sergé 4 est le moins monotone pour la vitesse de course ($\Delta L = 21$ dBA).
- Concernant les données fréquentielles, nous trouvons que le spectre sonore, à la vitesse de marche, consiste en seule bande passante à l'amplitude du maximum – 10 dB. Uniquement pour les armures sergé 3 et sergé 4, le spectre se divise en deux bandes passantes et par la suite le spectre est plus fluctuant (voir la Figure 45). Pour la vitesse de course, le spectre sonore pour toutes les armures, sauf l'armure satin 5, est constitué de deux bandes passantes. Si l'on compare à l'aide des données fréquentielles les armures qui présentent l'extrémité de niveau sonore global, soient les satin 4 et sergé 3, on peut constater que le satin 4 trouve son amplitude de maximum pour des fréquences plus importantes, 4,44 kHz et 3,71 kHz pour la

vitesse de marche et de course respectivement. Pour l'armure sergé 3, l'amplitude de son maximum se trouve à des fréquences moins importantes et plus perceptibles par l'oreille humaine, soit 1,65 kHz et 1,82 kHz respectivement. On peut remarquer que l'armure crêpe présente un pic du spectre à une fréquence à laquelle l'oreille est très sensible, soit 1,78 kHz. La différence fréquentielle Δf diminue pour la vitesse de course et l'énergie spectrale se répartit sur des plages fréquentielles plus étroites. Le bruit de frottement des étoffes en coton écru devrait être plus agressif. Cela est vrai quand les autres paramètres physiques du son (bruit) sont importants. Par exemple, l'armure satin 4 présente la différence fréquentielle la plus étroite à la vitesse de marche, soit $\Delta f = 6,4$ kHz : dans un premier temps son bruit doit être le plus agressif, mais le niveau sonore et l'amplitude du maximum sont les moins importants. Ainsi la fréquence de maximum la plus importante rend le bruit de cette armure moins agressif. Ceci est confirmé par l'évaluation sensorielle des bruits de frottement des étoffes en coton écru qui sera présentée dans le chapitre suivant. Par conséquent, la différence fréquentielle Δf est effective lorsque le niveau sonore global L_g et l'amplitude du maximum L_m sont plus importants, ainsi la fréquence correspondant au maximum amplitude f_m est moins importante.

Nous pouvons observer dans la Figure 42 que les armures chevron, satin 5 et toile présentent des spectres sonores avec des propriétés sonores similaires en termes de niveau sonore global, de plage d'amplitude et de fréquence du maximum surtout dans le cas des armures toile et chevron. L'armure satin 5 présente une plage d'amplitude et une fréquence du maximum légèrement plus grandes mais avec une amplitude du maximum moins importante ; le bruit de satin 5 est plus homogène et moins perceptible surtout avec une bande passante (au maximum -10) plus large. Les bandes passantes de ces trois armures sont présentées dans la Figure 43. La différence fréquentielle des armures satin 5, chevron est importante (un large domaine fréquentiel $\Delta f > 8$) et par la suite, leur bruit devrait être perçu comme un bruit ni grave ni aigu mais plutôt homogène. Puisque l'armure satin 5 présente une plage d'amplitude ΔL et une différence fréquentielle Δf plus importantes, le bruit est décrit comme '*bourdonnements, chuchotement*'. L'armure toile présente la différence fréquentielle la plus étroite ($\Delta f = 4,04$ kHz à la vitesse de course, par exemple) : le bruit devrait être plus agressif et il pourrait être décrit comme un bruit énergique et plutôt aigu surtout avec une amplitude du maximum importante autour de 3 kHz comme cela apparaît dans la Figure 42. Ces observations ont été confirmées par l'évaluation sensorielle du bruit de frottement.

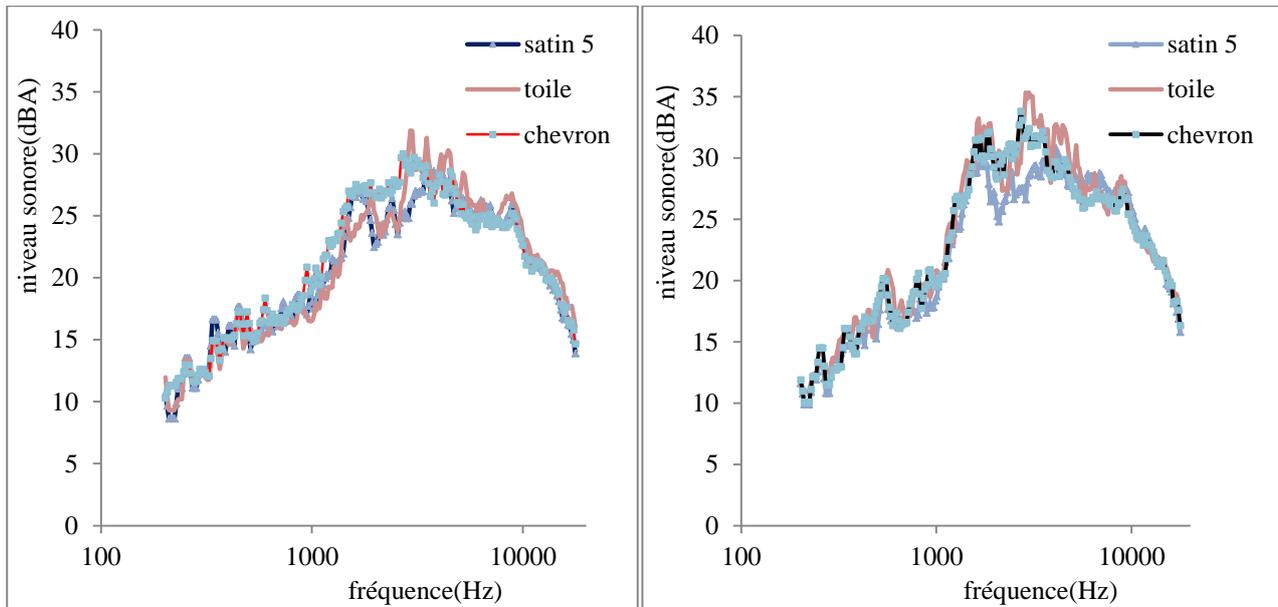


Figure 42 : Spectre sonore des armures : satin 5, toile, chevron à la vitesse de marche (à gauche) et à la vitesse de course (à droite).

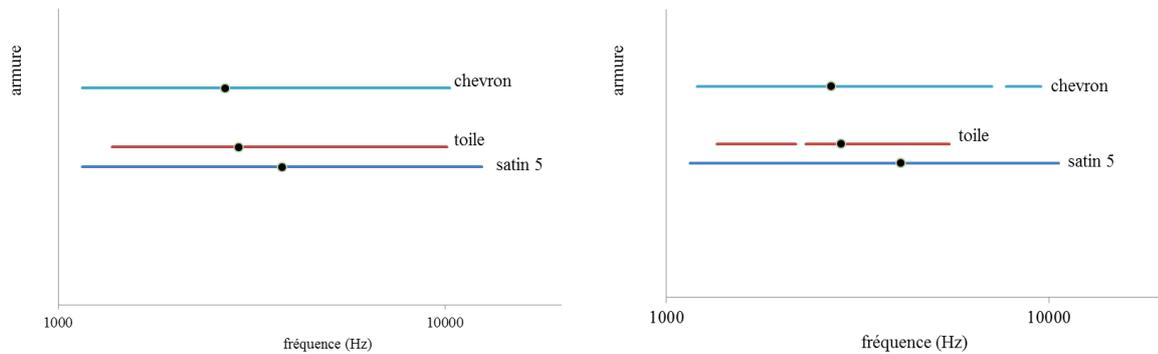


Figure 43 : Bande passante des armures satin 5, toile, chevron pour la vitesse de marche (à gauche) et pour la vitesse de course (à droite)

Les spectres sonores des autres armures et leurs bandes passantes sont présentés dans les Figure 44 et Figure 45 respectivement. D’après la Figure 44, nous constatons que le spectre sonore de l’armure sergé 3 est le plus flucuant pour les deux vitesses de frottement. Le spectre sonore du sergé 4 est très similaire à celui du sergé 3 à la vitesse de course avec une fréquence d’amplitude très proche, 1,82 kHz et 1,78 kHz respectivement. Il est important de remarquer que le spectre de satin 4 présente l’amplitude la plus faible sur toute la gamme de fréquence avec une fréquence du maximum plus large.

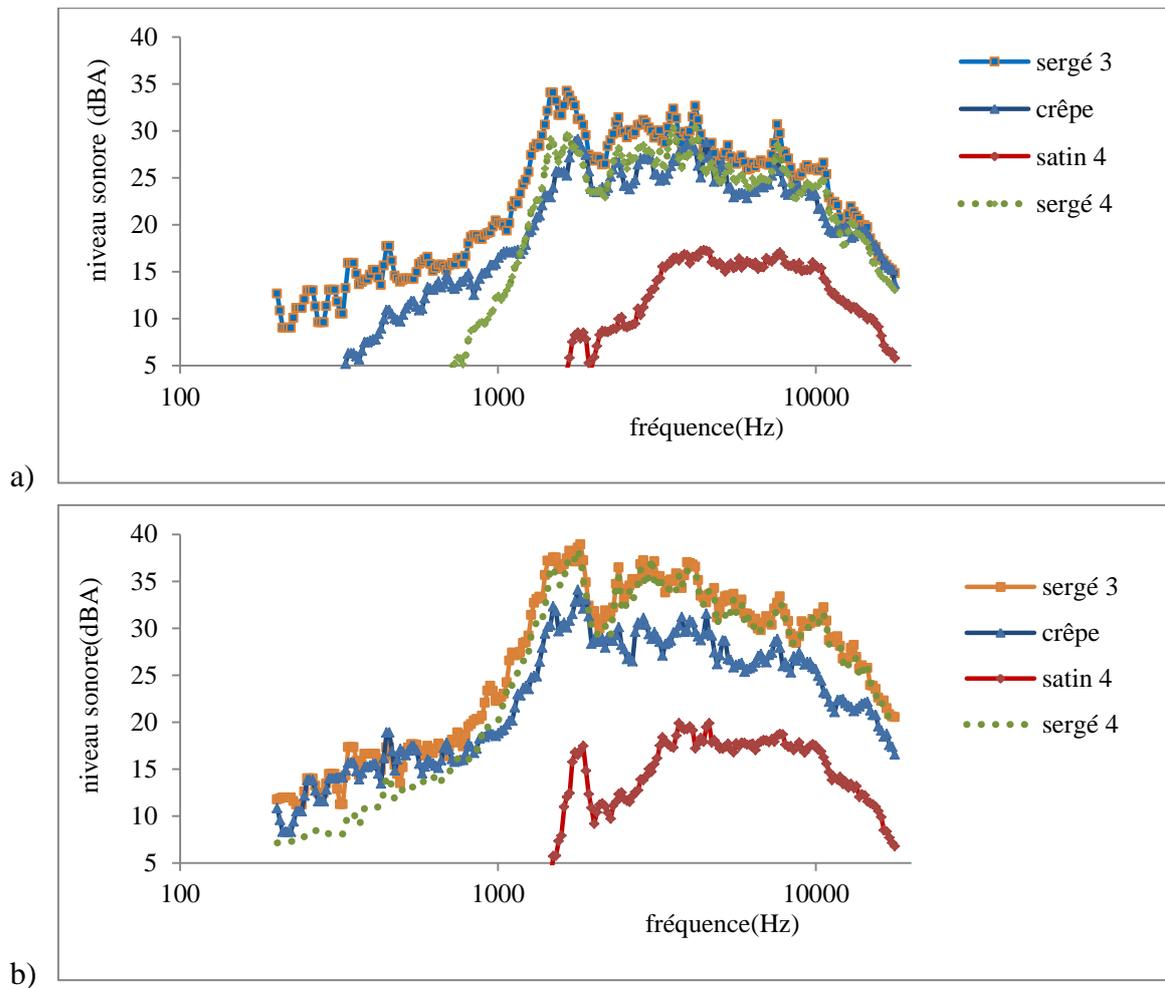


Figure 44 : Spectre sonore des armures coton écu: a- marche b- course

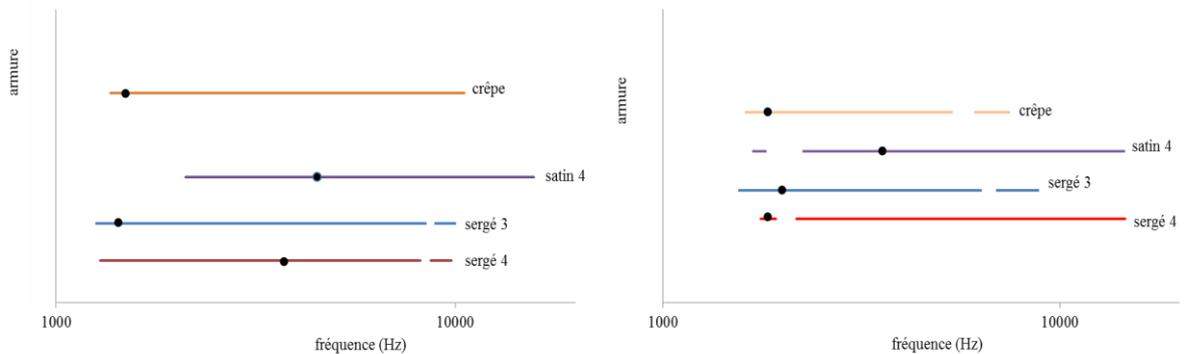


Figure 45 : Bande passante des armures coton écu pour la vitesse de marche (à gauche) et pour la vitesse de course (à droite)

18.3.1 Comparaison statistiques des bruits de frottement des armures coton écu

Le test LSD a été réalisé pour comparer le niveau sonore global des armures. Les résultats correspondant à la vitesse de marche et à la vitesse de course sont présentés dans le Tableau 29 et le Tableau 30 respectivement.

Tableau 29 : Test LSD pour le niveau sonore global des armures coton écru - marche

armure	sergé 3	chevron	toile	satin 5	crêpe	sergé 4	satin 4
sergé 3	-						
chevron	-0,20	-					
toile	0,39	-1,40	-				
satin 5	1,79	-0,001	-0,60	-			
crêpe	2,99	1,19	0,59	-0,80	-		
sergé 4	3,59	1,79	1,19	-0,20	-1,40	-	
satin 4	4,99	3,19	2,59	1,19	-0,001	-0,60	-

Les valeurs positives en gris indiquent une différence significative entre les bruits de chaque paire d'armures.

Tableau 30 : Test LSD pour le niveau sonore global des armures coton écru - course

armure	sergé 3	chevron	toile	satin 5	crêpe	sergé 4	satin 4
sergé 3	-						
chevron	4,29	-					
toile	3,49	-0,10	-				
satin 5	6,09	0,89	1,69	-			
crêpe	4,89	-0,30	0,49	0,29	-		
sergé 4	5,89	0,69	1,49	-0,70	0,09	-	
satin 4	7,09	1,89	2,69	0,09	1,29	0,29	-

Les valeurs positives en gris indiquent une différence significative entre les bruits de chaque paire d'armures.

D'après ces tableaux, nous constatons que le bruit de frottement de l'armure sergé 3 est significativement différent des autres bruits, pour les deux vitesses de frottement, en terme de niveau sonore global du spectre sonore. Le bruit du satin 4 est significativement différent de celui des autres armures surtout pour la vitesse de course. Il n'y a pas de différence significative entre le bruit du satin 4 et le bruit du crêpe et du sergé 4 à la vitesse de marche. Le niveau sonore global des bruits des armures toile, chevron, satin 5 n'est pas significativement différent pour les deux vitesses de frottement sauf entre la toile et le satin 5, pour la vitesse de course, la différence est significative.

- Si l'on compare le satin 5 et le satin 4 dans le Tableau 29 et le Tableau 30 : nous trouvons qu'il y a une différence significative entre le bruit de ces armures pour les deux vitesses de frottement. Cette différence est moins importante pour la vitesse de course. Le satin 5 est plus bruyant avec un niveau sonore plus important. Le satin 4 présente une plage d'amplitude plus importante, soit $\Delta L = 26$ dBA. L'amplitude du maximum pour le satin 4 est la moins importante, elle se situe pour des fréquences plus importantes, cela signifie que le bruit du satin 4 devrait être moins perçu que le bruit du satin 5. Le bruit du satin 4 peut être décrit comme un bruit plus homogène.
- Si l'on compare les bruits du sergé 4 et du sergé 3 : le niveau sonore global des bruits est significativement différent pour les deux vitesses de frottement. Le sergé 3 est plus bruyant. La bande passante de ces deux armures est similaire pour la vitesse de marche (8,50 kHz pour sergé 3 et 8,45 pour sergé 4), mais la fréquence de l'amplitude du maximum pour le sergé 3 est de 1,65 kHz tandis qu'elle est de 4,18 pour le sergé 4. Le bruit du sergé 3 est plus perçu auditivement. Ces deux armures présentent une amplitude

du maximum similaire avec des fréquences correspondantes similaires pour la vitesse de la course.

Nous n'avons pas effectué le test LSD sur les autres paramètres physiques du bruit de frottement (plage d'amplitude, amplitude du maximum, fréquence du maximum, différence fréquentielle) car ces paramètres ont été pris pour un seul enregistrement, celui de l'enregistrement du bruit qui va être écouté par les sujets²⁹ lors du test sensoriel.

CHA (Classification Hiérarchique Ascendant) pour l'ensemble des paramètres physiques des bruits de frottement des armures coton écru.

- Test CHA du niveau sonore global (L_g)

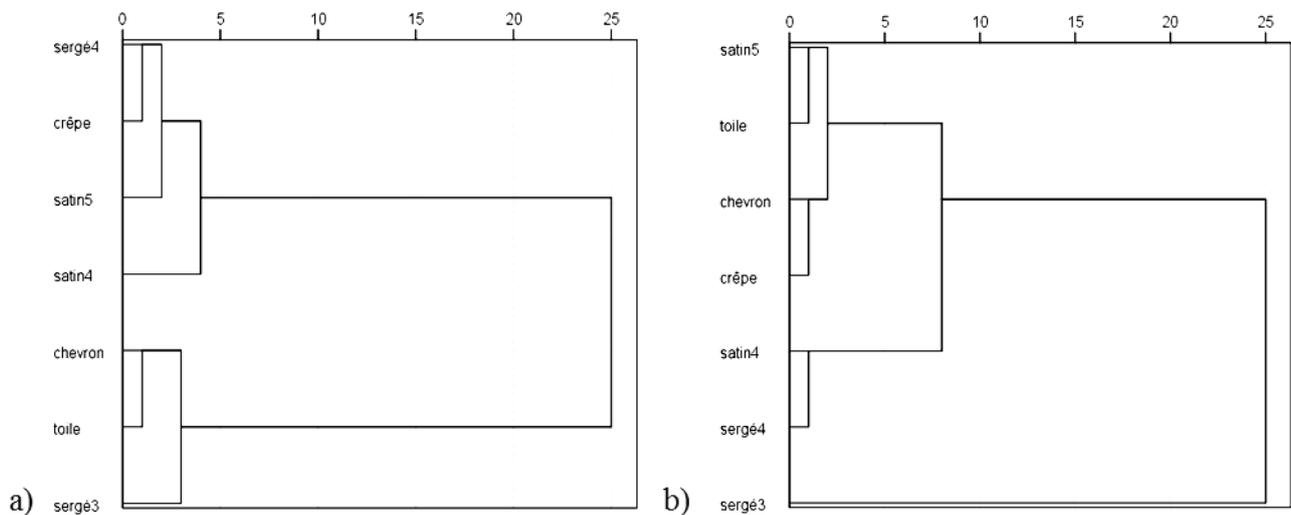


Figure 46 : Test CHA du niveau sonore global des bruits des armures coton écru: a- marche b- course
D'après cette figure, nous constatons que, pour la vitesse de marche, le niveau sonore des bruits de satin 4 et satin 5 se rejoint dans le même groupe. La toile, le chevron sont classés dans le même groupe et le sergé 3 les rejoint dans le même groupe. Pour la vitesse de course, le sergé 3 forme son propre groupe. Les armures satin 5, toile, chevron se rejoignent dans le même groupe. Le sergé 4 et le satin 4 sont classés dans le même groupe à la vitesse de course, ils se rejoignent dans le même groupe à la vitesse de marche.

- Test CHA d'amplitude du maximum (L_m)

D'après la Figure 47, l'armure satin 4 forme son propre groupe pour les deux vitesses de frottement. Les armures satin 5, chevron sont classées dans le même groupe à la vitesse de marche. L'armure satin 5 rejoint les armures toile, chevron à la vitesse de course. Les armures sergé 3 et sergé 4 forment un seul groupe à la vitesse de course.

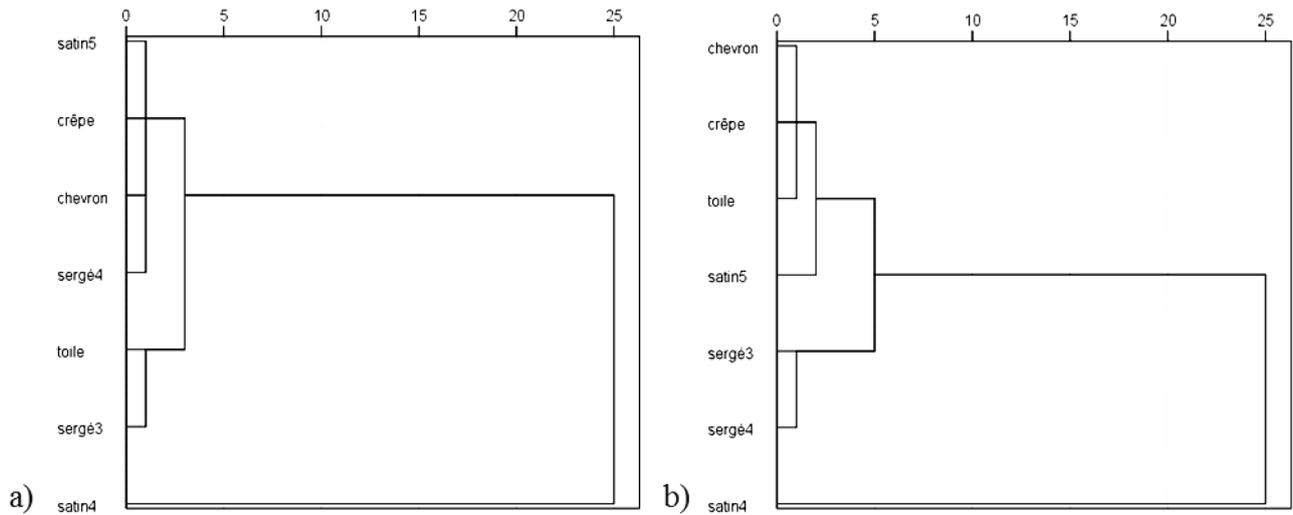


Figure 47 : Test CHA d'amplitude du maximum des bruits des armures coton écru : a-marche b-course

- Test CHA de fréquence du maximum (f_m)

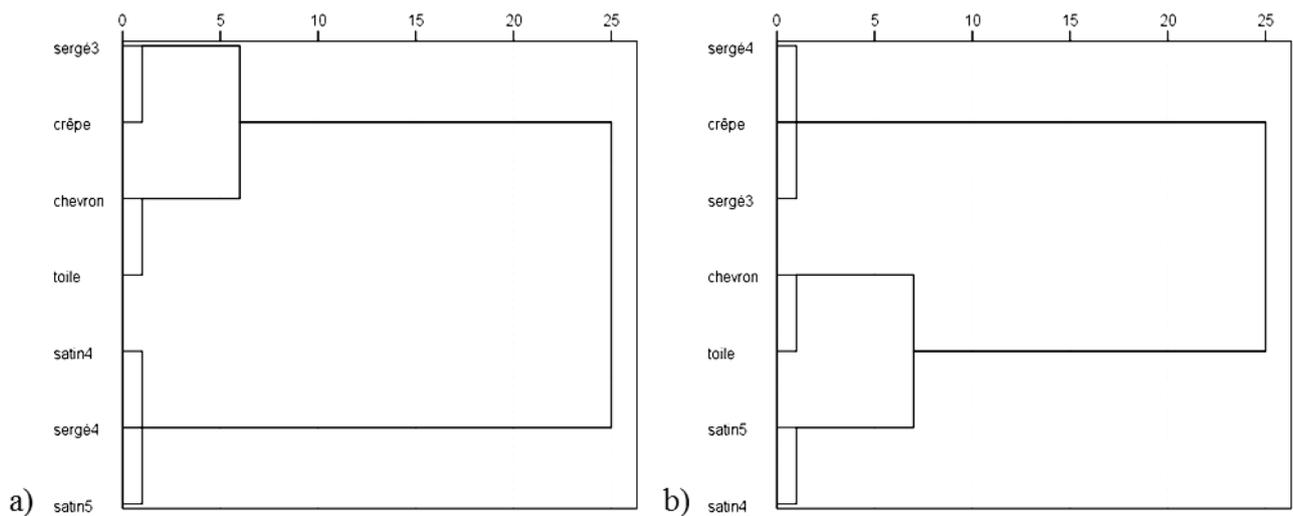


Figure 48 : Test CHA de fréquence du maximum des armures coton écru : a- marche b- course

Les armures satin 4, satin 5 sont classées dans le même groupe pour les deux vitesses de frottement. Les armures chevron, toile sont classées dans le même groupe pour les deux vitesses de frottement. Les armures sergè 3, crêpe sont classées dans le même groupe pour les deux vitesses de frottement et le sergè 4 leur rejoint dans le même groupe à la vitesse de course.

- Test CHA de différence fréquentielle (Δf)

L'armure satin 5 forme son propre groupe pour la vitesse de marche, elle est classée dans le même groupe que le chevron à la vitesse de course avec le satin 4 et le sergè 4. Les armures toile et crêpe se rejoignent dans le même groupe pour les deux vitesses de frottement. Le sergè 3 et le sergè 4 sont classés dans le même groupe à la vitesse de marche.

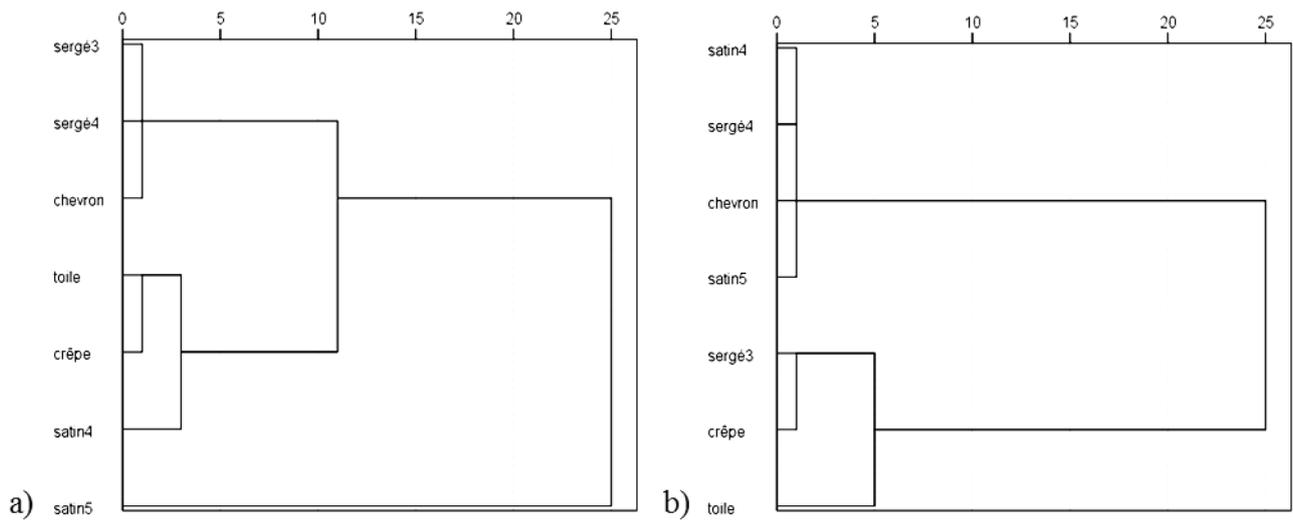


Figure 49 : Test CHA de différence fréquentielle des armures coton écru : a- marche b- course

- Test CHA de plage de l'amplitude (ΔL)

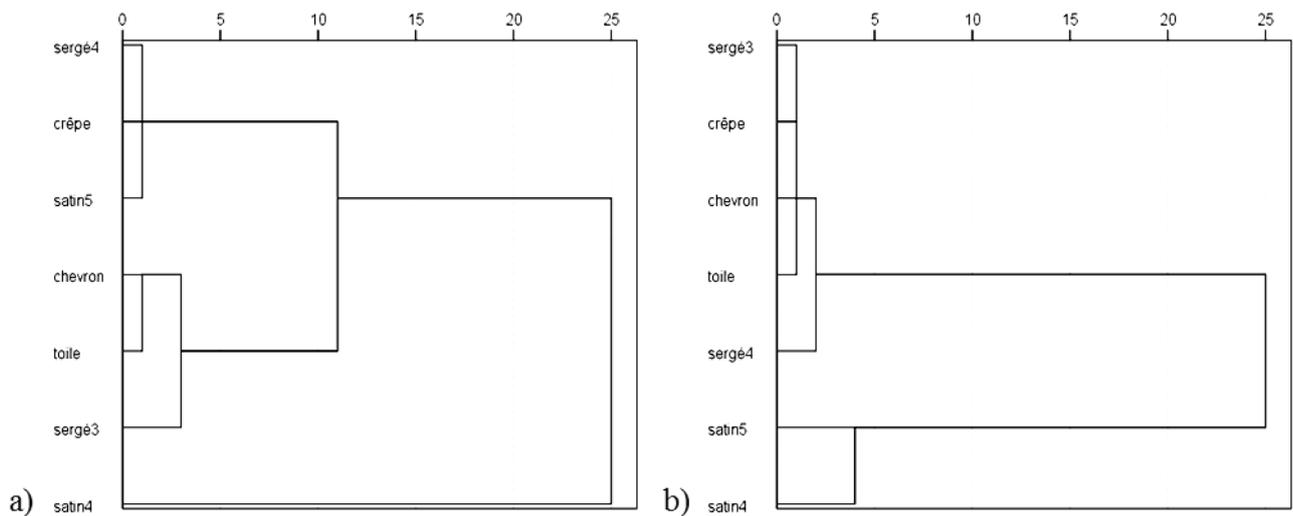


Figure 50 : Test CHA de plage d'amplitude des armures coton écru : a- marche b- course

D'après la Figure 50, l'armure satin 4 forme un seul groupe à la vitesse de marche, elle est classée dans le même groupe que le satin 5 à la vitesse de course. Les armures toile et chevron sont classées dans le même groupe pour les deux vitesses de frottement.

La distance de ressemblance des spectres sonores a été calculée selon l'équation 35. Les résultats correspondant à la vitesse de marche et à la vitesse de course sont présentés dans le Tableau 31, Tableau 32 respectivement. *Les valeurs en gris dans les tableaux représentent les paires des spectres sonores qui sont différents en prenant en compte une distance critique (arbitraire), soit $d=3,4$.*

Tableau 31 : Distance de ressemblance des spectres sonores des armures coton écru- marche

d (i, j)	toile	sergé3	chevron	crêpe	satin4	sergé4
satin5	1,75	3,96	1,90	1,56	16,28	1,57
toile		4,04	2,13	2,09	16,99	2,61
sergé3			3,08	4,39	20,25	3,80
chevron				2,33	18,06	2,23
crêpe					16,22	1,71
satin4						16,96
sergé4						

Les valeurs en gris indiquent les paires des armures qui ne se ressemblent pas.

Tableau 32 : Distance de ressemblance des spectres sonores des armures coton écru - course

d (i, j)	toile	sergé3	chevron	crêpe	satin4	sergé4
satin5	2,60	5,88	2,18	1,89	16,15	14,71
toile		4,60	1,72	2,01	17,71	16,20
sergé3			5,19	5,20	21,59	2,91
chevron				1,58	17,17	15,67
crêpe					16,92	15,44
satin4						19,79
sergé4						

Les valeurs en gris indiquent les paires des armures qui ne se ressemblent pas.

D'après le Tableau 31 et le Tableau 32, nous constatons que le spectre de l'armure sergé 3 est différent des spectres des autres armures pour les deux vitesses de frottement. Le spectre du sergé 3 est différent des autres armures pour la vitesse de course sauf dans le cas du sergé 4. Les spectres sonores des armures chevron, toile, satin 5 sont semblables pour les deux vitesses de frottements. Le spectre de l'armure satin 4 est différent pour les deux vitesses de frottement.

Dans les paragraphes précédents nous avons analysé le signal sonore des étoffes en les caractérisant par l'amplitude et la fréquence. Cette analyse s'est faite en supposant, en première approche, que le signal sonore était un signal stationnaire. Mais cela n'est pas le cas, car ces signaux sont des signaux non stationnaires dont l'amplitude change dans le temps. De plus, l'analyse fréquentielle a été faite sans prendre en compte ce phénomène de non stationnarité dans le temps. En d'autres termes, nous pouvons dire que nous avons effectué une analyse du signal sans prendre en compte le contenu d'énergie locale au cours de la durée du signal enregistré. Dans le paragraphe suivant, nous allons analyser le signal sonore dans le domaine temps-fréquentiel en utilisant la méthode de la transformée en S. Cette méthode est nouvelle et innovante pour le traitement des signaux sonores des étoffes textiles. Cette nouvelle méthode nous permettra d'effectuer une analyse plus fine, de comparer la variation d'énergie apportée par les différents segments du signal sonore dans les deux domaines temps et fréquence. Cette méthode est appliquée seulement sur les signaux sonores des armures en coton écru.

18.3.2 Analyse du bruit de frottement des étoffes coton écu dans le domaine temps-fréquentiel (Transformée en S)

Pour effectuer cette analyse, une interface d'analyse du signal sonore a été réalisée [260]. Cette interface facilite l'analyse en nous permettant d'échantillonner le signal enregistré, à n'importe quel moment, avec une fréquence d'échantillonnage de 44100 Hz. L'enveloppe du signal échantillonné de 2 secondes a été divisée en plusieurs segments. Les extrémités des segments ont été identifiées expérimentalement par l'intersection entre l'enveloppe et un seuil de 30% du maximum d'amplitude de l'enveloppe. Grâce à cette interface, nous avons pu choisir différents segments (pair ou impair) et les transformer en S. Cette interface est présentée dans la Figure 51.

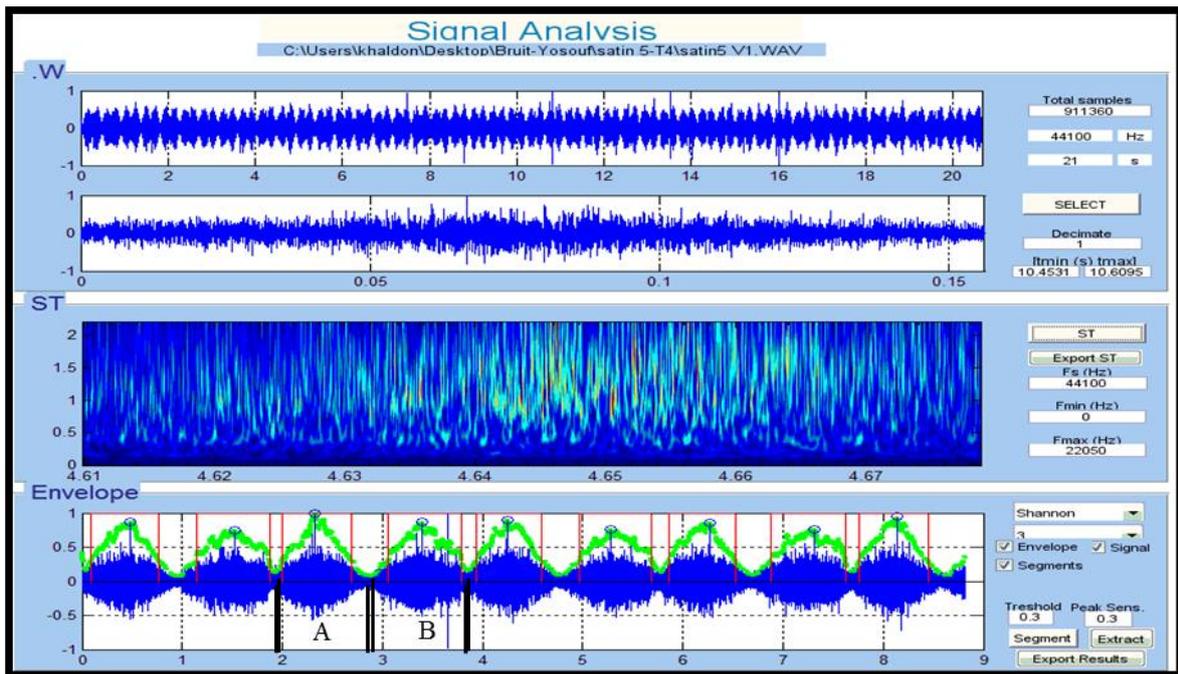


Figure 51 : Interface de transformée en S d'un signal sonore d'étoffe textile.

Nous avons comparé deux segments successifs : le segment N° 3, segment impair, nommé A et le segment N° 4, segment pair, nommé B dans la Figure 51. Le segment A est identifié comme *aller*, et le segment B est identifié comme *retour* ce qui correspond au mouvement de l'avant-bras.

Deux exemples de transformée en S sont présentés pour montrer la non stationnarité du signal sonore du bruit de frottement des étoffes textiles :

- Un échantillon, de 2 secondes, du signal sonore de l'armure satin 5 est présenté dans la Figure 52. Dans cette figure, nous constatons que le contenu d'énergie apporté par les fréquences n'est pas le même pour tout l'intervalle temporel de l'échantillon sonore. Par exemple, à 1,3 secondes l'énergie est de 0,1 Pa pour les fréquences importantes ($f > 10000$ Hz), tandis qu'elle est de 0,05 Pa pour les fréquences plus faibles ($f < 5000$ Hz).

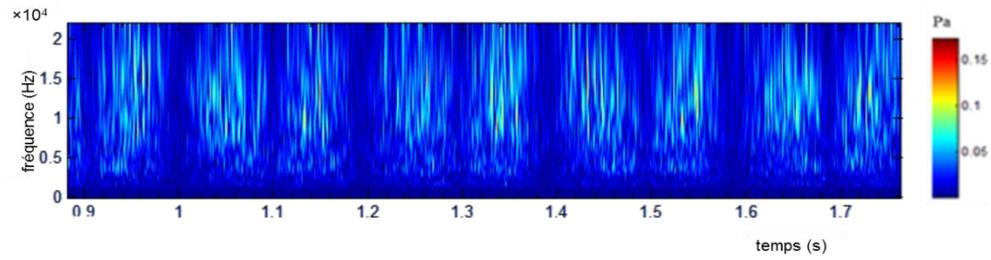


Figure 52 : Transformée en S pour coton écreu en satin 5 – marche

- La transformée en S pour l'armure toile est présentée dans la Figure 53. Le contenu d'énergie à 1,2 secondes est de 0,1 Pa pour une fréquence de 10000 Hz, tandis qu'il est de 0,05 Pa pour des fréquences plus basses. Il est clair que le signal sonore de l'armure toile est plus riche (plus de segments) que le signal de l'armure satin 5.

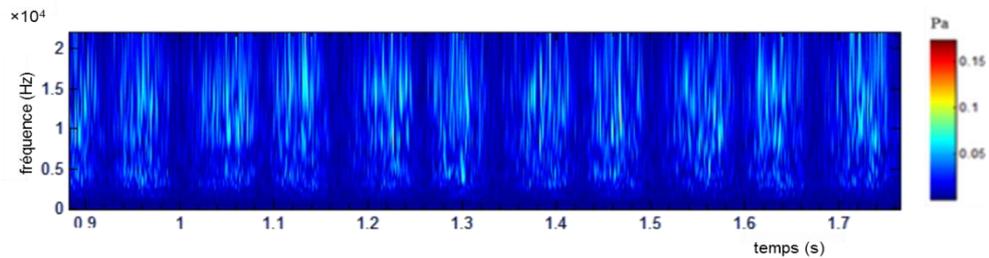


Figure 53 : Transformée en S pour coton écreu en toile – marche

Si l'on prend un exemple de la transformée en S pour un signal sonore enregistré pour la vitesse de course, nous trouvons que ce signal est plus riche d'information avec un nombre de segments plus important. Le signal sonore de l'armure satin 5, pendant 2 secondes, contient 9 segments pour la vitesse de marche (Figure 52) alors qu'il contient 12 segments pour la vitesse de course comme cela est présenté dans la Figure 54.

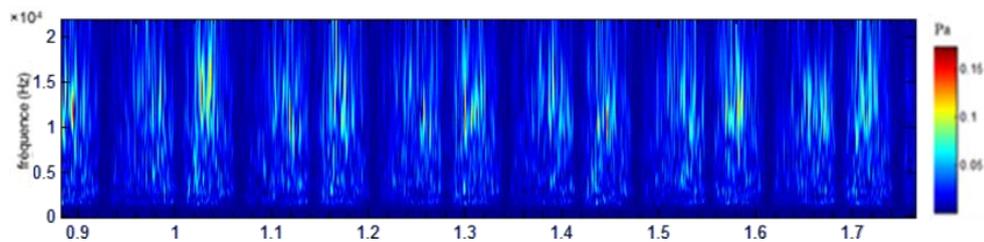


Figure 54 : Transformée en S pour coton écreu en satin 5- course

Puisque le signal sonore contient plusieurs segments dans la période d'échantillonnage de 2 secondes et puisque le contenu d'énergie n'est pas le même, nous avons choisi deux segments successifs à comparer dans deux périodes différentes du signal total.

18.3.2.1 Comparaison entre l'aller et le retour pour deux périodes différents

Les segments choisis dans la Figure 51, *aller* (A) et *retour* (B), ont été comparés pour deux périodes différentes de 2 secondes. La première période a été choisie entre (6 et 8) secondes du temps total

de l'enregistrement du signal (20 secondes), la deuxième période a été choisie entre (12 et 14) secondes ; c'est-à-dire que la deuxième période a été prise 6 secondes après la première période.

Les informations apportées par la matrice S ($m \times n$) transformée en S , Figure 52 et Figure 53, sont très riches. Cette matrice brute est complexe et il est difficile d'en extraire des informations pertinentes. Nous avons appliqué la Décomposition en Valeurs Singulières (DVS). La fenêtre de commande de cette fonction a été effectuée en utilisant le logiciel Matlab (cf. *annexe 7*)

U ($m \times m$), V ($n \times n$) sont les Vecteurs Singuliers qui correspondent aux valeurs singulières Σ ($m \times n$). Avec $m = 10$ colonnes, $n = 10$ lignes.

U présente le domaine fréquentiel, V présente le domaine temporel.

Pour ce travail, nous nous sommes intéressés au premier Vecteur Singulier ($U1$ et $V1$) qui correspond à la première valeur singulière (valeur propre) qui présente le maximum d'information de la matrice S .

Un exemple des Vecteurs Singuliers $U1$, $V1$, pour la première période échantillonnée entre (6 et 8 secondes) du signal sonore de l'armure satin 5 pour la vitesse de marche, est présenté par leur histogramme dans la Figure 55. L'histogramme présente les dix premiers vecteurs propres du premier Vecteur Singulier $U1$, $V1$; les dix premières valeurs de la première colonne de la matrice U , V . A partir de ces histogrammes, nous pouvons comparer les différents segments du signal pour différentes périodes. La Figure 55 présente une comparaison entre les histogrammes concernant le segment *Aller* (A) et le segment *Retour* (B) dans les deux domaines. D'après la Figure 55, il n'y a pas de différence entre les deux segments dans le domaine fréquentiel ($U1$), sauf pour le dixième vecteur propre. Mais une différence d'énergie existe dans le domaine temporel ($V1$) surtout pour le premier, cinquième et le dixième vecteur propre. Le contenu d'énergie pour ces vecteurs discriminants n'est pas le même, l'intensité sonore apportée dans le segment A1 (*aller*) et le segment B1 (*retour*) n'est pas la même.

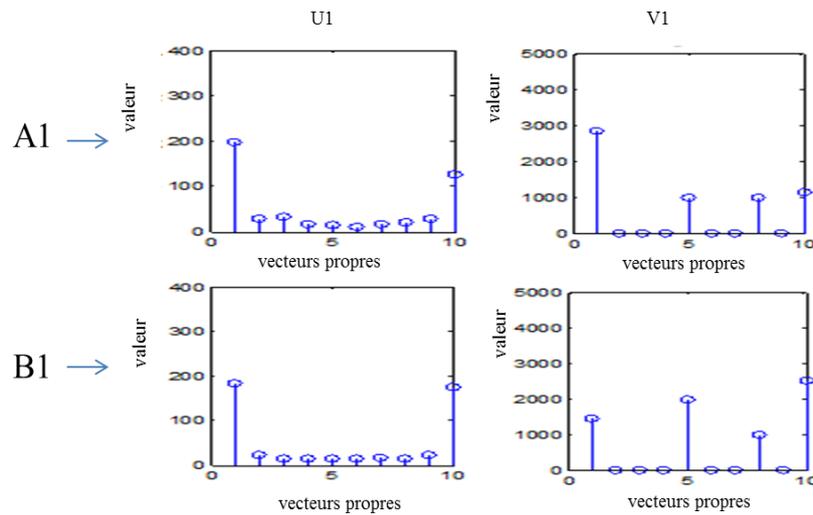


Figure 55 : Histogrammes des vecteurs singuliers de première période : A1 (aller), B1 (retour)

Ces deux Vecteurs Singuliers, pour la deuxième période entre (12 et 14) secondes sont présentés dans la Figure 56. D’après la Figure 56, nous trouvons que pour la deuxième période, c’est-à-dire après 6 secondes de frottement, que le contenu d’énergie des deux segments A2 (*aller*) et B2 (*retour*) n’est pas le même ni dans le domaine fréquentiel (U1) ni dans le domaine temporel (V1). Dans le domaine fréquentiel, le contenu d’énergie du premier vecteur propre est différent et dans le domaine temporel, le premier et le dixième vecteur propre sont différents. Le contenu d’énergie, dans le domaine fréquentiel, est similaire pour les deux périodes tandis qu’il est différent dans le domaine temporel. La différence du contenu d’énergie entre les deux segments a été mesurée grâce à la distance de différence entre les histogrammes correspondants pour chaque domaine, fréquentiel et temporel. La distance Euclidienne [261] entre l’histogramme concernant les deux segments dans le domaine fréquentiel et temporel a été calculée en utilisant Matlab.

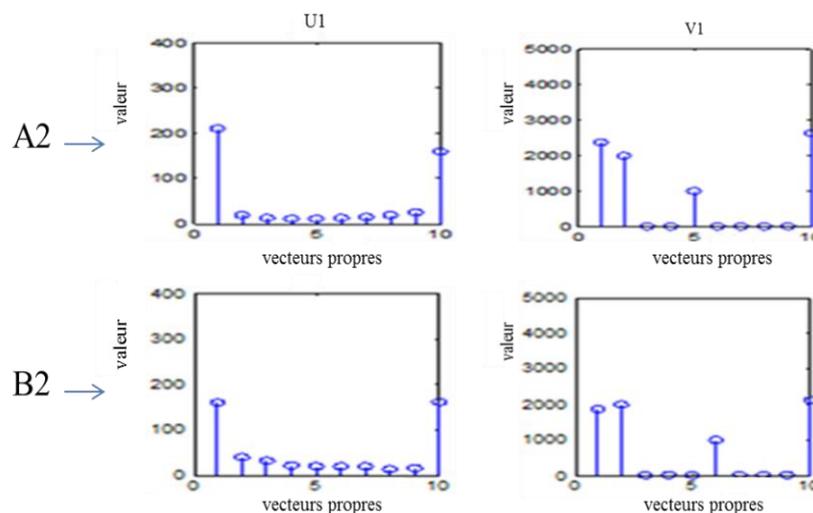


Figure 56 : Histogrammes des vecteurs singuliers de deuxième période : A2 (aller), B2 (retour)

D (A1-B1) : la distance qui représente la différence d'énergie entre l'aller et le retour dans la première période.

D (A2-B2) : la distance qui représente la différence d'énergie entre l'aller et le retour dans la deuxième période.

Nous avons calculé la distance dans le domaine fréquentiel (les premiers dix vecteurs propres de l'histogramme), dans le domaine temporel (les seconds dix vecteurs propres de l'histogramme) et la distance totale qui représente les deux domaines (les vingt vecteurs propres ensemble).

Cette distance est calculée pour trois enregistrements du bruit pour chaque étoffe. La valeur moyenne et l'écart-type pour la vitesse de marche sont présentés dans le Tableau 33 et la Figure 57.

Tableau 33 : Distance de différence entre l'aller et le retour - marche

armure		distance total	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
chevron	A1-B1	3260	83,1	3260
	écart- type	150,2	53,7	149,5
	A2-B2	1870	94,9	2100
	écart- type	205,8	13,1	420,4
crêpe	A1-B1	3960	131	3960
	écart- type	707	66,5	709,4
	A2-B2	3410	88,1	3410
	écart- type	897,8	47,3	897,7
satin 4	A1-B1	3440	113	3440
	écart- type	509,5	54,4	508,7
	A2-B2	2760	76,2	2750
	écart- type	469,8	27,9	469,6
satin 5	A1-B1	2220	126	2210
	écart- type	691,9	57,0	690,6
	A2-B2	4550	89,9	4540
	écart- type	2140	60,2	2141,1
sergé 3	A1-B1	3331	122,05	3217,20
	écart- type	193	38,6	1378,6
	A2-B2	1880	120	2110
	écart- type	583,2	82,36	382,67
sergé 4	A1-B1	4299,5	105,93	4726,5
	écart- type	64,1	78,0	741,9
	A2-B2	2570	72,8	2570
	écart-type	435,3	26,9	436,1
toile	A1-B1	2980	67,6	2980
	écart- type	1134,6	64,3	1134,7
	A2-B2	2040	70,9	2040
	écart- type	57,2	16,9	57,9

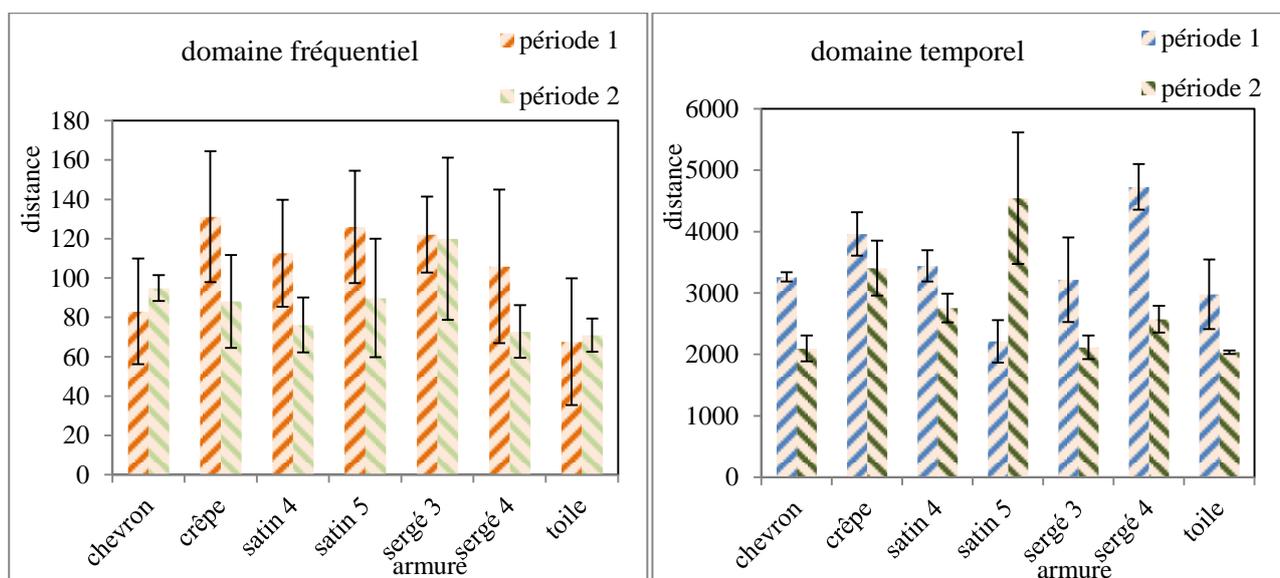


Figure 57 : Distance de différence entre l'aller et le retour – marche

D'après le Tableau 33 et la Figure 57, nous constatons que la différence entre l'aller et le retour est plus importante dans le domaine temporel que dans le domaine fréquentiel. Dans le domaine fréquentiel, la différence du contenu d'énergie entre les deux segments diminue pour la deuxième période. Sauf pour l'armure chevron, cette différence augmente pour la deuxième période. Il n'y a pas de différence significative entre les armures concernant la différence du contenu d'énergie entre les deux segments pour les deux périodes dans le domaine fréquentiel. Le Tableau 34 et le Tableau 35, présentent les résultats du test LSD pour comparer cette différence entre les armures.

Tableau 34 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la première période dans le domaine fréquentiel- marche

armure	crêpe	satin 5	sergé 3	satin 4	sergé 4	chevron	satin
crêpe	-						
satin 5	-99,9	-					
sergé 3	-96,0	-101,2	-				
satin 4	-86,6	-91,7	-95,7	-			
sergé 4	-79,9	-85,0	-89,0	-98,4	-		
chevron	-57,0	-62,2	-66,1	-75,5	-82,2	-	
toile	-41,6	-46,7	-50,7	-60,1	-66,8	-89,7	-

Tableau 35 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la deuxième période dans le domaine fréquentiel -marche

armure	sergé 3	chevron	satin 5	crêpe	satin 4	sergé 4	toile
sergé 3	-						
chevron	-53,8	-					
satin 5	-48,7	-65,6	-				
crêpe	-47,0	-63,8	-68,9	-			
satin 4	-35,0	-51,9	-56,9	-58,7	-		
sergé 4	-31,7	-48,6	-53,6	-55,4	-67,3	-	
toile	-29,8	-46,7	-51,7	-53,5	-65,4	-68,7	-

Dans le domaine temporel, excepté pour le satin 5, la différence du contenu d'énergie diminue dans la deuxième période. L'armure sergé 4 est significativement différente des armures satin 5, toile et sergé 3 pour la première période comme cela est présenté dans le Tableau 36. Le satin 5 est significativement différent des autres armures pour la deuxième période (Tableau 37). Ceci peut être expliqué par la présence de fils flottants sur la surface des armures sergé 4 et satin 5. L'entrelacement des fils de chaîne et de trame est moins important, la structure est plus flexible. La possibilité de la mobilité des fils sous la contrainte de frottement est importante ; les vibrations sont moins fixes dans le temps. Cela va générer des ondes sonores avec une amplitude moins stable avec une différence entre les segments successifs du signal sonore. Les bruits de satin 5 et sergé 4 sont produits d'une manière moins homogène dans le domaine temporel. On peut observer que l'armure toile présente la plus petite différence entre les deux segments (aller et retour) dans les deux domaines, fréquentiel et temporel. Le contenu d'énergie du bruit généré est plus similaire entre les différents segments à cause de la structure stable de cette armure et des vibrations de structure plus homogènes.

Tableau 36 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la première période dans le domaine temporel -marche

armure	sergé 4	crêpe	satin 4	chevron	sergé 3	toile	satin 5
sergé 4	-						
crêpe	-714,2	-					
satin 4	-195,2	-961,0	-				
chevron	-15,2	-781,1	-1300,1	-			
sergé 3	29,3	-736,6	-1255,6	-1435,6	-		
toile	268,3	-497,6	-1016,6	-1196,6	-1241,0	-	
satin 5	1032,8	266,9	-252,1	-432,1	-476,5	-715,5	-

Les valeurs en gris indiquent les paires qui sont significativement différents.

Tableau 37 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la deuxième période dans le domaine temporel -marche

armure	satin 5	crêpe	satin 4	sergé 4	sergé 3	chevron	toile
satin 5	-						
crêpe	-499,1	-					
satin 4	152,4	-987,0	-				
sergé 4	333,6	-805,8	-1457,2	-			
sergé 3	791,7	-347,7	-999,1	-1180,4	-		
chevron	808,9	-330,5	-981,9	-1163,2	-1621,3	-	
toile	870,6	-268,8	-920,2	-1101,5	-1559,6	-1576,8	-

Les valeurs en gris indiquent les paires qui sont significativement différents.

Si l'on compare les deux périodes pour chaque armure, nous trouvons que la différence du contenu d'énergie entre les deux segments au cours du frottement est significative, dans le domaine temporel, pour les armures chevron et sergé 4. Il n'y a pas de différence significative dans le domaine fréquentiel. Le Tableau 38 présente le test LSD, pour chaque armure, de la différence du contenu d'énergie des deux segments successifs entre les deux périodes dans les deux domaines.

Tableau 38 : Test LSD de la différence de contenu d'énergie entre les deux segments pour les deux périodes -marche

armure / domaine	chevron	crêpe	satin 4	satin 5	sergé 3	sergé 4	toile
fréquentiel	-76.7	-87.7	-61.5	-96.7	-104.0	-99.2	-103.2
temporel	449.0	-1279	-422.2	-1275.1	-1190.0	774.3	-878.9

Les valeurs en gris indiquent que l'armure présente une différence significative en terme de contenu d'énergie des segments successifs.

- La même analyse de transformée en S a été faite pour le bruit généré à la vitesse de course. La distance qui représente la différence entre les deux segments (aller et retour) est présentée dans le Tableau 39 et la Figure 58.

D'après le Tableau 39 et la Figure 58, nous trouvons que le contenu d'énergie des segments (aller et retour) est plus similaire dans le domaine fréquentiel que dans le domaine temporel. La distance de différence est moins importante dans le domaine fréquentiel.

Tableau 39 : Distance de différence entre l'aller et le retour - course

armure		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
chevron	A1-B1	2718,1	88,2	2392,9
	écart- type	604,2	46,3	703,6
	A2-B2	2070	99,1	1980
	écart- type	485,1	4,8	376,3
crêpe	A1-B1	2150	88,1	2140
	écart- type	109,0	11,5	108,6
	A2-B2	2390	83,9	2390
	écart- type	67,7	20,7	67,7
satin 4	A1-B1	2256,7	139,8	2130,9
	écart- type	358,2	81,0	328,1
	A2-B2	2400	199	2390
	écart- type	744,6	30,8	748,0
satin 5	A1-B1	2020	87,2	2020
	écart- type	120,6	12,9	120,2
	A2-B2	2040	83,1	2040
	écart- type	555,9	76,4	53,2
sergé 3	A1-B1	2110	122	2110
	écart- type	847,6	62,3	846,8
	A2-B2	1300	99,1	1290
	écart- type	742,9	38,8	748,1
sergé 4	A1-B1	2440	147	2430
	écart- type	589,2	49,1	587,5
	A2-B2	1980	136	1310
	écart- type	348,5	96,4	998,1
toile	A1-B1	9800	80,8	976
	écart- type	550,2	46,1	548,3
	A2-B2	1360	117	1360
	écart- type	148,0	21,2	147,5

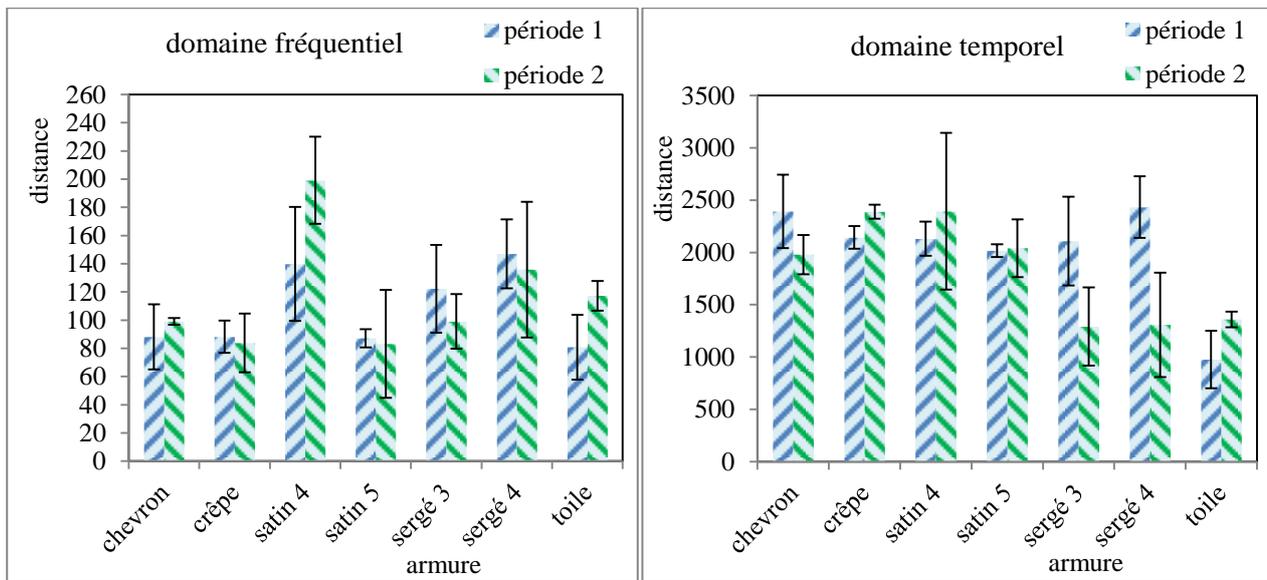


Figure 58 : Distance de différence entre l'aller et le retour – course

Dans le domaine fréquentiel, la différence du contenu d'énergie entre les deux segments (aller et retour) ne diminue toujours pas pour la deuxième période. Cette différence diminue pour l'armure crêpe, par exemple, tandis qu'elle augmente pour l'armure satin 4. Il n'y a pas de différence significative entre les armures pour la première période (Tableau 40) alors que le satin 4 est significativement différent pour la deuxième période (Tableau 41).

Tableau 40 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la première période dans le domaine fréquentiel - course

armure	sergé 4	satin 4	sergé 3	crêpe	chevron	satin 5	toile
sergé 4	-						
satin 4	-81,1	-					
sergé 3	-63,5	-70,7	-				
crêpe	-29,5	-36,7	-54,3	-			
chevron	-29,4	-36,6	-54,2	-88,2	-		
satin 5	-28,5	-35,6	-53,2	-87,2	-87,4	-	
toile	-22,1	-29,2	-46,8	-80,8	-81,0	-81,9	-

Tableau 41 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la deuxième période dans le domaine fréquentiel -course

armure	satin 4	sergé 4	toile	chevron	sergé 3	crêpe	satin 5
satin 4	-						
sergé 4	-29,7	-					
toile	-11,1	-74,5	-				
chevron	6,6	-56,7	-75,2	-			
sergé 3	7,0	-56,3	-74,8	-92,7	-		
crêpe	22,2	-41,1	-59,6	-77,4	-77,8	-	
satin 5	23,0	-40,3	-58,8	-76,7	-77,0	-92,3	-

Les valeurs en gris indiquent les paires qui sont significativement différents.

Dans le domaine temporel, la différence du contenu d'énergie des deux segments augmente pour la deuxième période pour les armures satin 4, toile et crêpe, tandis qu'elle diminue pour les autres armures. L'armure toile présente la différence la moins importante entre l'aller et le retour surtout pour la première période. La toile est significativement différente des autres armures (Tableau 42). Le satin 4 et le crêpe sont significativement différents des sergé 3 et sergé 4 pour la deuxième période (Tableau 43).

Tableau 42 : Comparaisons de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la première période dans le domaine temporel- course

armure	sergé 4	chevron	crêpe	satin 4	sergé 3	satin 5	toile
sergé 4	-						
chevron	-902,1	-					
crêpe	-652,5	-692,8	-				
satin 4	-640,1	-680,4	-929,9	-			
sergé 3	-618,3	-658,6	-908,1	-920,5	-		
satin 5	-526,0	-566,3	-815,9	-828,3	-850,1	-	
toile	514,2	473,9	224,4	212,0	190,1	97,9	-

Les valeurs en gris indiquent les paires qui sont significativement différents.

Tableau 43 : Comparaison de la différence du contenu d'énergie des deux segments pour la deuxième période dans le domaine temporel- course

armure	satin 4	crêpe	satin 5	chevron	toile	sergé 4	sergé 3
satin 4	-						
crêpe	-1062,9	-					
satin 5	-715,1	-720,1	-				
chevron	-653,3	-658,3	-1006,1	-			
toile	-34,2	-39,2	-387,0	-448,8	-		
sergé 4	17,2	12,2	-335,6	-397,4	-1016,5	-	
sergé 3	33,4	28,4	-319,4	-381,2	-1000,3	-1051,7	-

Les valeurs en gris indiquent les paires qui sont significativement différents.

Si l'on compare les deux périodes concernant chaque armure dans les deux domaines, on trouve qu'il n'y a pas de différence significative entre la différence du contenu d'énergie des deux segments à la première et à la deuxième période. La différence entre l'aller et le retour reste non significative pour les deux périodes dans les deux domaines (fréquentiel et temporel).

Tableau 44 : Test LSD de la différence du contenu d'énergie entre les deux segments pour les deux périodes- course

armure domaine	chevron	crêpe	satin 4	satin 5	sergé 3	sergé 4	toile
fréquentiel	-63.13	-71.65	-79.53	-120.22	-94.55	-162.12	-44.83
temporel	-865.1	-165.4	-1046.5	-883.43	-994.5	-731.8	-526.83

18.3.2.2 Comparaison plusieurs allers et plusieurs retours pour des périodes différentes

Dans ce paragraphe nous avons comparé plusieurs segments, impairs, considérés comme *aller* pour différentes périodes échantillonnées du signal total. En même temps, nous avons comparé plusieurs segments, pairs, considérés comme *retour* pour les mêmes périodes d'échantillonnage.

Tout d'abord nous avons pris une période comme référence et nous avons comparé son contenu d'énergie pour le segment *aller* avec le contenu d'énergie du segment *aller* pour autres périodes successives. Cela s'est fait pour le *retour* aussi.

La période de référence a été prise entre (4 et 6) secondes, le contenu d'énergie de cette période est comparé avec les périodes suivantes avec un intervalle de 2 secondes : (6-8) secondes, (8-10) secondes, (10-12) secondes, et (12-14) secondes.

A1 représente le segment *aller* pour la période de référence.

B1 représente le segment *retour* pour la période de référence.

A2, A3, A4, A5 représentent les segments *aller* dans les périodes successives à comparer.

B2, B3, B4, B5 représentent les segments *retour* dans les périodes successives à comparer.

A1-A_i : représente la différence d'énergie entre l'aller de la période de référence et les allers des périodes successives.

B1-B_i : représente la différence d'énergie entre le retour de la période de référence et les retours des périodes successives.

La distance de différence dans le domaine temporel et fréquentiel a été calculée pour chaque armure. Nous avons développé les résultats concernant les armures chevron et sergé 3, à titre d'exemple. Les résultats concernant les autres armures sont présentés dans l'*annexe 8*.

Différence entre les allers, les retours pour l'armure chevron :

La distance entre les allers et les retours à la vitesse de marche est présentée dans le Tableau 45.

Tableau 45 : Distance entre les allers et les retours pour le chevron - marche

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	1,04	0,19	0,98
	B1-B2	1,35	0,08	1,29
période 2 (8-10)	A1-A3	1,08	0,31	0,99
	B1-B3	0,99	0,34	0,92
période 3 (10-12) s	A1-A4	1,13	0,23	0,97
	B1-B4	1,27	0,41	1,18
période 4 (12-14) s	A1-A5	1,46	0,28	1,41
	B1-B5	1,56	0,40	1,46

Ces résultats sont présentés dans la Figure 59.

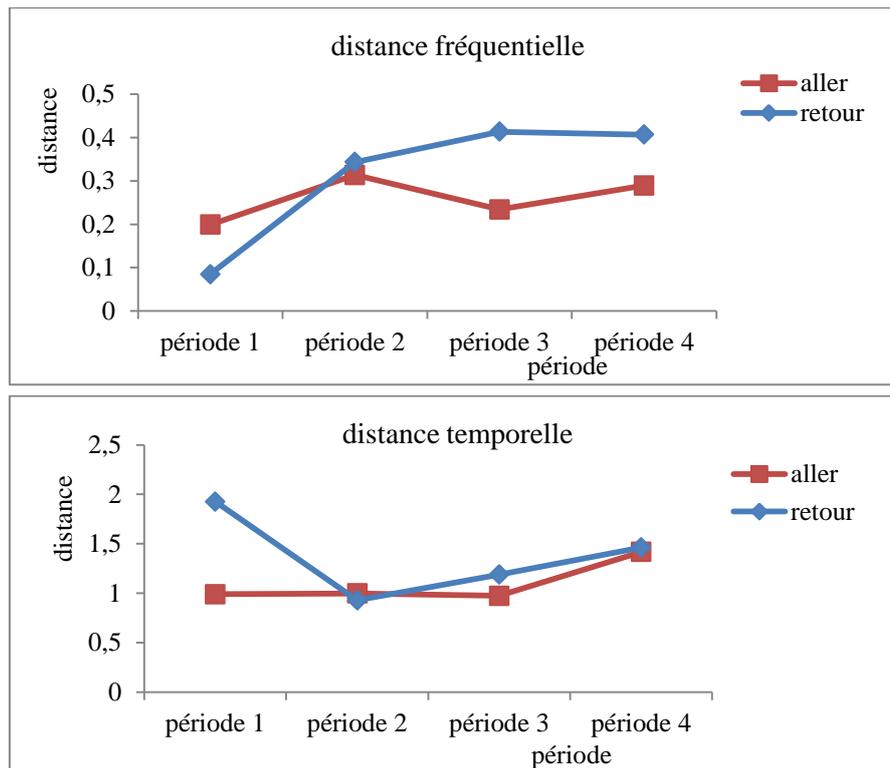


Figure 59 : Différence entre les allers et les retours pour chevron – marche

D’après le Tableau 45 et la Figure 59, nous observons que la différence dans le domaine fréquentiel est moins importante que dans le domaine temporel pour les allers et pour les retours, mais cette différence varie d’une période à l’autre. Cette variation reste moins importante pour les allers. Dans le domaine temporel, la différence du contenu d’énergie est plus similaire surtout pour les allers. Les allers et les retours deviennent plus homogènes pour des périodes plus importantes et le bruit devient plus homogène en fonction du temps.

La différence entre les segments du signal a été aussi calculée pour la vitesse de course.

Cette distance est présentée dans le Tableau 46.

Tableau 46 : Distance entre les allers et les retours pour le chevron - course

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	2151,2	116,5	2148
	B1-B2	2290,9	52,5	2290,3
période 2 (8-10)	A1-A3	2077,3	52,9	2076,6
	B1-B3	2317,1	41,8	2316,7
période 3 (10-12) s	A1-A4	2131,4	52,3	2130,8
	B1-B4	2567,2	68,7	2566,3
période 4 (12-14) s	A1-A5	3524,5	128	3522,2
	B1-B5	3146	38,4	3145,7

Ces résultats sont présentés dans la Figure 60.

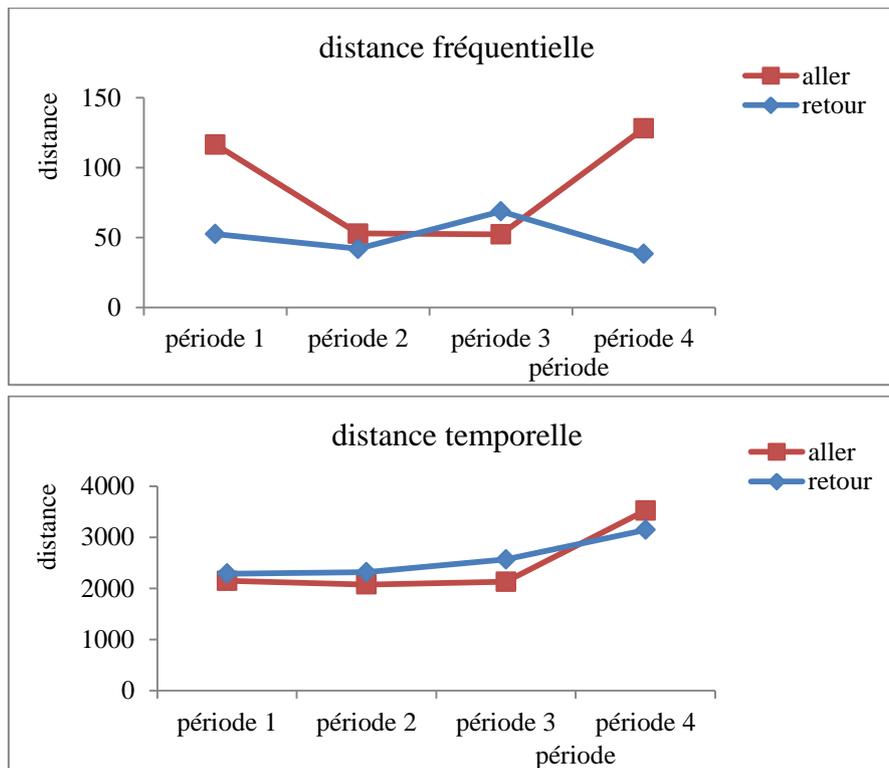


Figure 60 : Distance de différence entre les allers et les retours pour chevron –course

Comme nous l’avons déjà vu pour la vitesse de marche, la différence entre les allers et les retours dans le domaine fréquentiel est moins importante, mais elle varie d’une période à l’autre d’une manière moins homogène avec une tendance non précise. Dans le domaine temporel, cette différence du contenu d’énergie est plus importante, mais la variation reste similaire tant que le temps augmente. Les allers et les retours sont similaires dans le domaine temporel quel que soit la période d’échantillonnage.

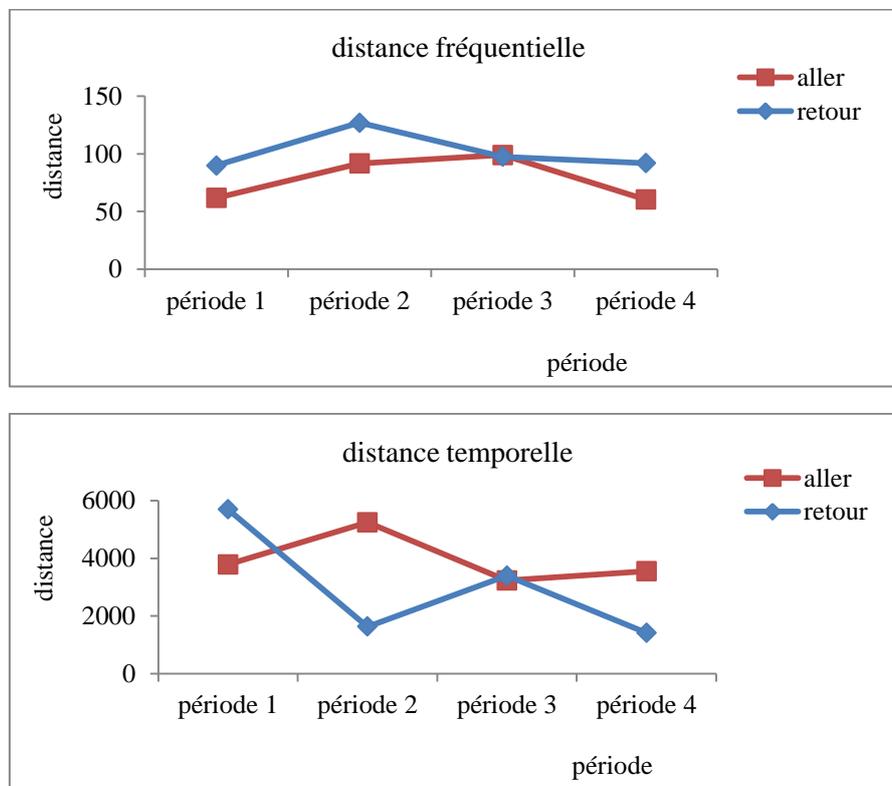
Il est bien évident que la différence entre les allers et les retours à la vitesse de course est beaucoup plus importante qu’à la vitesse de marche : le bruit devient moins homogène à la vitesse de course.

Distance de différence entre les allers, les retours pour l’armure sergé 3 :

La différence entre les allers et les retours, à la vitesse de marche, est présentée dans le Tableau 47 et la Figure 61.

Tableau 47 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure sergé 3 - marche

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	3,7848e+03	61,8385	3,7843e+03
	B1-B2	5,7014e+03	89,8220	5,7007e+03
période 2 (8-10) s	A1-A3	5,2439e+03	91,6733	5,2431e+03
	B1-B3	1,6381e+03	126,9803	1,6332e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	3,2343e+03	98,9646	3,2328e+03
	B1-B4	3,3964e+03	97,5295	3,3950e+03
période 4 (12-14) s	A1-A5	3,5526e+03	60,4814	3,5521e+03
	B1-B5	1,4172e+03	91,9674	1,4142e+03

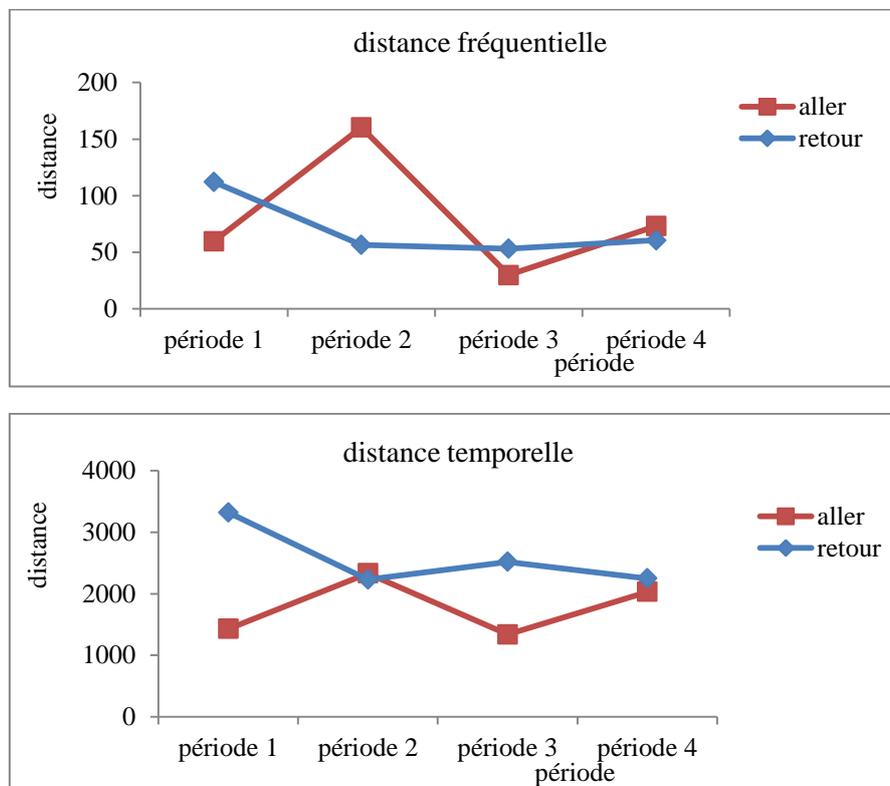
**Figure 61 : Distance de différence entre les allers et les retours pour sergé 3 – marche**

Nous trouvons que la différence entre les allers eux-mêmes et les retours eux-mêmes diminue pour les périodes importantes. La différence entre les retours est plus importante qu'entre les allers dans le domaine fréquentiel. Mais dans le domaine temporel, cette distance n'a pas une tendance précise.

Pour la vitesse de course, la distance de différence entre les retours est plus importante qu'entre les allers dans le domaine temporel. Dans le Tableau 48 et la Figure 62 nous constatons que la différence entre les retours diminue en fonction du temps.

Tableau 48 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure sergé 3 - course

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	1,4276e+03	59,6825	1,4263e+03
	B1-B2	3,3224e+03	112,1428	3,3205e+03
période 2 (8-10) s	A1-A3	2,3374e+03	160,3371	2,3319e+03
	B1-B3	2,2314e+03	56,5332	2,2307e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	1,3381e+03	29,7993	1,3378e+03
	B1-B4	2,5177e+03	53,0660	2,5172e+03
période 4 (12-14) s	A1-A5	2,0313e+03	73,1574	2,0300e+03
	B1-B5	2,2481e+03	60,5310	2,2473e+03

**Figure 62 : Distance de différence entre les allers et les retours pour sergé 3 – course**

18.3.3 Conclusion partielle

Les propriétés sonores des étoffes en coton écru varient selon l'armure : le sergé 3 est l'armure la plus bruyante avec un niveau sonore, une amplitude de maximum la plus importante et une fréquence de maximum moins importante et plus perceptible. Au contraire l'armure satin 4 est la plus furtive avec des données fréquentielles moins perceptibles. L'armure sergé 4 présente des caractéristiques sonores très similaires à l'armure sergé 3 pour la vitesse de course ; le spectre sonore est très fluctuant en comparaison avec les autres armures. Le bruit des armures sergé devrait

être décrit comme un bruit dysharmonique et polyphonique et non homogène. Les armures toile, satin 5, chevron présentent des propriétés sonores similaires pour les deux vitesses de frottement. L'armure toile présente un pic pour une fréquence autour de 3 kHz (pour laquelle l'oreille est plus sensible) avec un spectre plus fluctuant, le spectre sonore est plus riche et le bruit devrait être perçu comme un bruit énergétique, agressif et plutôt aigu. L'armure satin 5 présente un spectre avec une bande passante et une plage d'amplitude plus importante et par la suite son bruit peut être décrit comme un bruit monotone et homogène.

La transformée en S, nous montre que la différence du contenu d'énergie des segments successifs du signal sonore des étoffes est moins importante dans le domaine fréquentiel que dans le domaine temporel. Cette différence d'énergie, dans le domaine temporel et pour la vitesse de marche, entre deux segments (aller et retour) pour les armures sergé 4 et satin 5 est significativement différente des autres armures pour la première et la deuxième période respectivement. A la vitesse de course, pour la deuxième période, cette différence est significative pour l'armure satin 4 dans les deux domaines, la différence d'énergie entre deux segments successifs augmente avec le temps. L'armure toile présente la différence la moins importante entre les deux segments successifs en termes de contenu d'énergie pour les deux vitesses de frottement. La comparaison entre plusieurs segments 'aller' entre eux et plusieurs segments 'retour' entre eux montre que les armures sergé 3, sergé 4 présentent un contenu d'énergie variant au long du spectre sonore. Cette différence entre les allers ou les retours devient moins importante avec le temps. Ceci peut être expliqué par l'état de surface des étoffes ; les aspérités deviennent plus alignées dans la direction de frottement répété et les vibrations deviennent plus stables. Les armures chevron, satin 4 et satin 5 présentent un contenu d'énergie similaire entre les allers eux-mêmes et les retours eux-mêmes surtout à la vitesse de marche. Même si l'armure toile présente une différence moins importante entre l'aller et le retour grâce à sa structure, la différence entre les allers eux-mêmes et retour eux-mêmes, à la vitesse de marche, reste plus importante que celles des armures chevron, satin 4, satin 5. Les résultats obtenus en transformée en S confirment les résultats concernant les paramètres physiques du son (bruit) ; le bruit des armures sergé 3, sergé 4 et toile est plus perceptible, plus agressif, moins homogène contrairement au bruit des armures chevron, satin 5, satin 4.

CHAPITRE 2

Analyse sensorielle du bruit de frottement des étoffes textiles

19 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons évaluer, sensoriellement, le bruit généré par le frottement des étoffes textiles sur elles-mêmes. Cette évaluation a été effectuée grâce à une liste descriptive d'attribut établie par des sujets entraînés en appliquant la méthode d'analyse descriptive quantitative. Dans un premier temps, nous avons suivi le protocole de cette méthode, puis nous avons analysé les résultats concernant la phase d'entraînement des panélistes dans le but de les qualifier à effectuer une évaluation auditive fiable du bruit de frottement des étoffes textiles. Les résultats concernant la caractérisation sensorielle du bruit de frottement des armures en coton écru seront discutés. Cette caractérisation a été faite pour le bruit généré pour la vitesse de marche et pour la vitesse de course. Les résultats obtenus pour les deux vitesses seront comparés.

20 MATERIELS ET METHODES

Dans le cadre d'application la méthode d'analyse descriptive quantitative, nous avons suivi les recommandations de la norme NF ISO 11035 [214]. Les démarches du protocole d'évaluation sensorielle du bruit de frottement des étoffes sont présentées dans les paragraphes suivants.

20.1 CHOIX DES SUJETS

Nous avons choisi 11 sujets au sein du laboratoire (panélistes internes). Les panélistes sont des deux sexes (5 hommes et 6 femmes), de différents âges (de 23 à 46 ans) et de différents secteurs d'activité : administratif, technicien, étudiant.

La capacité auditive des panélistes a été jugée par le test d'audiogramme en appliquant la méthode de Békésy. Il a été recommandé aux panélistes d'éviter tout mouvement inutile au moment des tests pour ne pas générer des bruits parasites. Les panélistes ont été informés qu'ils pouvaient interrompre l'essai d'eux-mêmes en cas de malaise. Le test s'est fait dans un local calme et isolé du bruit extérieur.

Un casque de type Sennheiser HD 280 Pro (cf. la fiche technique dans *l'annexe 5*) a été utilisé et des sons purs avec un balayage de 6 octaves entre 125Hz et 8 kHz à une vitesse de 40 s/octave ont été diffusés aux panélistes. Nous avons utilisé un appareil type audio scan d'Essilor pour tracer leurs réponses. La durée de l'audiométrie est de 8 minutes pour les deux oreilles (6 octaves¹⁸ par oreille). La fréquence augmente doucement en fonction du temps et l'audiogramme est tracé en fonction de la fréquence. L'intensité diminue aussi longtemps que le bouton est pressé. Quand l'intensité est trop faible pour que le panéliste entende le son, le bouton est relâché et l'intensité commence à augmenter. Lorsque le panéliste entend à nouveau le son, le bouton est pressé de nouveau, ce qui donne un tracé en zigzag. Le premier test est fait pour l'oreille droite et le deuxième

test pour l'oreille gauche (Figure 63). La réponse des panélistes est comparée à la réponse de référence, réponse d'une personne d'audition normale, selon la norme ISO 7029:2000 [262]. Les courbes de référence sont prises à 90% et 10 % par rapport à l'âge et au sexe de l'auditeur. Si la courbe d'audiogramme d'un panéliste montre des seuils audiométriques plus bas que la courbe de référence à 10% correspondant à sa tranche d'âge, cela signifie qu'il n'a que 10% de chance d'avoir une audition normale. La Figure 63 nous présente la courbe d'audiogramme de deux oreilles du panéliste P7, les audiogrammes des autres panélistes sont présentés dans *l'annexe 9*.

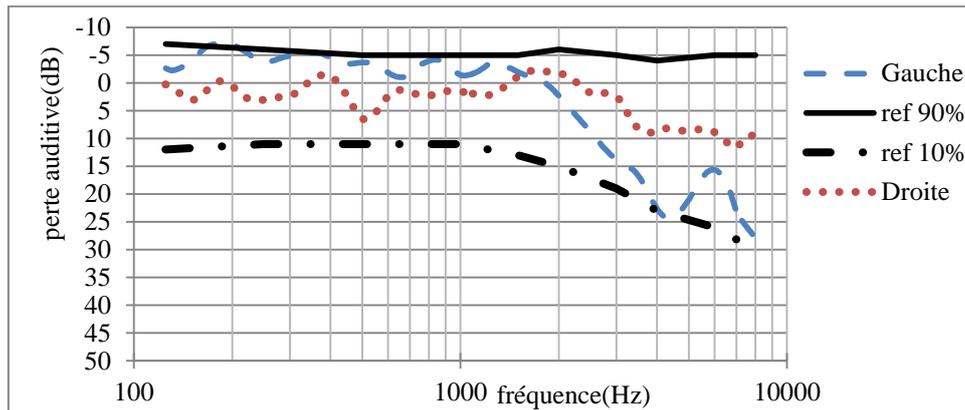


Figure 63 : Audiogramme du panéliste P7

A partir de cette figure, nous trouvons que l'audition de ce panéliste n'est pas symétrique pour les deux oreilles. Le panéliste subit d'une perte auditive pour l'oreille gauche à partir de 2 kHz, mais pour son âge 44 ans, il est considéré comme un panéliste d'audition normale.

Les courbes d'audiogramme qui représentent la réponse moyenne des deux oreilles, pour chaque panéliste, sont présentés dans la Figure 64.

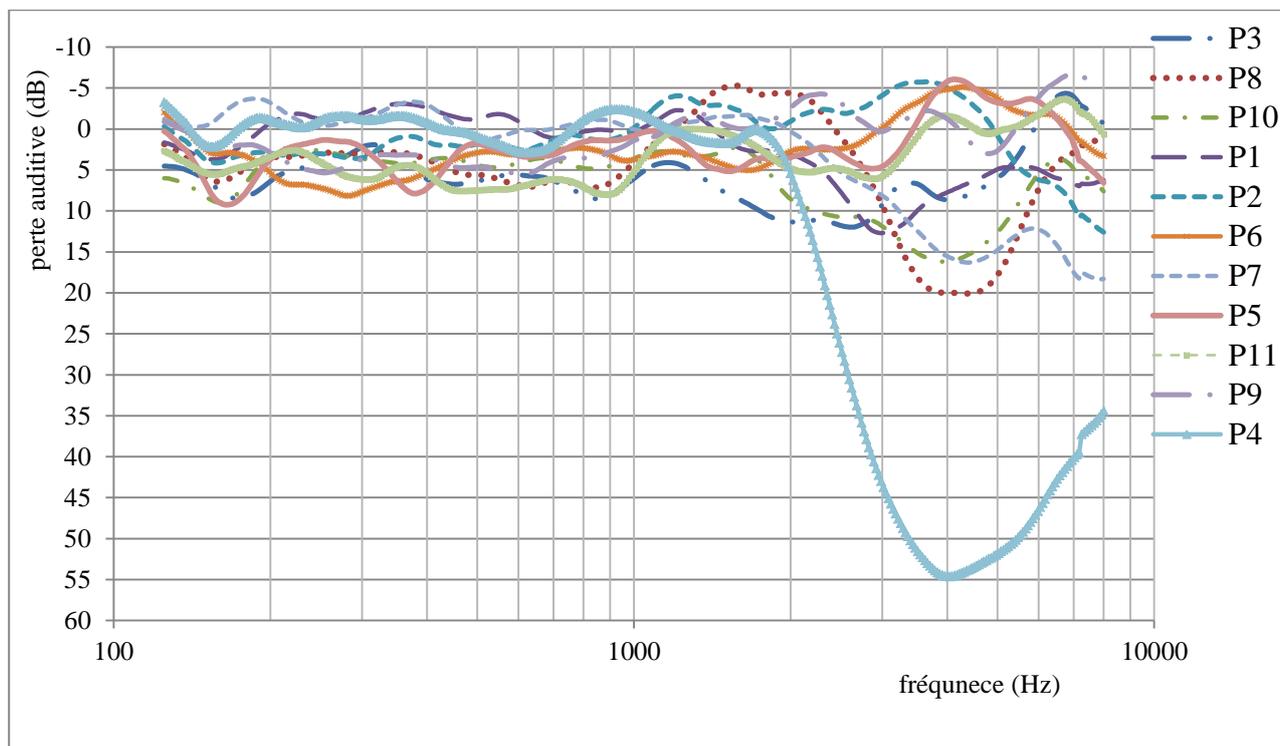


Figure 64 : Courbe d'audiogramme des panélistes

Les résultats du test d'audiogramme pour chaque panéliste sont présentés dans le Tableau 49.

Tableau 49 : La capacité auditive des panélistes

panéliste	âge	sexe	symétrie	remarque
P1	43	M	non	Légère perte auditive dans les hautes fréquences pour l'oreille droite par rapport à l'oreille gauche. Dans l'ensemble, audition normale
P2	31	F	oui	Audition normale, légère perte auditive après 6 kHz
P3	31	F	oui sauf pour basses fréquences	Audition normale (limite pour l'oreille droite)
P4	30	M	oui	Forte perte auditive à partir de 2 kHz
P5	23	F	oui	Audition normale, légère perte auditive après 6 kHz sur l'oreille gauche
P6	24	M	oui	Audition normale
P7	44	M	non	Perte auditive sur l'oreille gauche à partir de 2 kHz. Dans l'ensemble, audition normale
P8	45	M	oui	Petite perte à 4 kHz qui peut être considérée comme normale par rapport à son âge
P9	25	F	oui	Audition normale
P10	46	F	oui	Petite perte à 3,5 kHz sur l'oreille gauche. Dans l'ensemble, audition normale
P11	42	F	oui	Audition normale

A partir du Tableau 49, nous trouvons que tous les panélistes ont une audition normale par rapport à leur âge sauf le panéliste P4 qui subit une forte perte auditive à partir de 2 kHz et le panéliste P8 qui subit aussi une perte auditive pour les fréquences importantes à 4 kHz. Nous avons décidé de garder

ces deux panélistes (P4 et P8) dans le groupe des panélistes. Par la suite, nous comparerons l'évaluation auditive du bruit de frottement des étoffes textile entre un panéliste ayant une audition normale et un panéliste présentant un défaut d'audition identifié dans son audiogramme.

20.2 CHOIX DES DESCRIPTEURS

Dans ce travail, nous allons établir une liste de descripteurs qui permettra aux panélistes de décrire le bruit de frottement des étoffes grâce aux termes qu'ils vont générer eux-mêmes. Cette liste est discutée et finalisée par consensus de l'ensemble du groupe des panélistes. Nous allons discuter successivement les étapes d'élaboration de cette liste.

20.2.1 Génération des descripteurs

Les bruits de frottement de 14 étoffes, dont les caractéristiques ont été présentées dans le Tableau 5 (Cf. Partie expérimentale - Chapitre 1), ont été soumis aux panélistes d'une manière monadique (un par un). Cinq échantillons sonores ont été écoutés par séance, chaque échantillon sonore a été écouté 2 fois : la première fois correspond au bruit enregistré pendant 20 secondes pour la vitesse de marche et l'autre correspond au bruit enregistré pour la même période pour la vitesse de course. Le gestionnaire du panel a donné deux minutes comme pause pendant laquelle les panélistes peuvent noter les descripteurs qui décrivent la sensation provoquée par le bruit écouté avant la reprise du test suivant. Dans un premier temps, les panélistes ont travaillé individuellement, ce qui leur a permis de se concentrer pour imaginer et créer leurs propres mots. Dans un deuxième temps, une discussion entre les panélistes et le gestionnaire du panel a été menée aux sujets des termes trouvés.

La génération des descripteurs s'est faite pendant trois séances, chaque séance ayant durée 20 minutes. Un formulaire de génération de descripteurs a été présenté aux panélistes pour noter tous les termes (Figure 65).

Nom et prénom :

Date :21 /06 /2013.....

Décrivez les sensations auditives que vous procure(nt) ce(s) produit(s) en utilisant le vocabulaire qui vous est familier.

Produit N°	Vitesse	Descripteur/attribut
1	V1	
	V3	
2	V1	
	V3	
3	V1	
	V3	
4	V1	
	V3	
5	V1	
	V3	

Figure 65 : Formulaire de génération des descripteurs

Cette première démarche a permis d'obtenir une liste de 114 termes. Ils sont présentés par ordre alphabétique dans le Tableau 50.

Tableau 50 : Liste des 114 termes générés

abrasif	désagréable	graduel	papier de verre	sec
agaçant	diffus	grain	peinant	sifflant
aigue	dissonant	gras	perçant	soulant
air comprimé	doux	grattage	percussion	soupape vapeur
amorti	disharmonique	grinçant	piaulant	souple
appuyé	écho	grippé	pinçant	sourd
bas	effet tunnel	haut	pointue	soutenu
brillant	effort	homogène	polyphonique	stressant
bruit de fluide	elliptique	horripilant	ponçant	strident
bruit de scratch	emballement	identique	pur	tamis
bryant	émerisant	incommodant	râpant	variable
cadencé	énergique	indentifiable	rapide	velcro
chuintant	énervant	intensif	régulier	vibré
cigale	éraillé	intermittent	répétitif	vif
clair	étouffé	large	résonnant	
consonant	exaspérant	léger	riche	
couinant	fin	lent	ronflant	
couper	fluent	limant	rotatif	
criard	fort	locomotive à vapeur	rugueux	
crissant	frottant	long	rythmé	
cyclique	frotté du polystyrène	mal aux dents	sable	
cygalleux	frotti frotta	maracas	sac de billes	
dangereux	galop	mauvais	saccadé	
decrendos	gênant	monotone	sciage	
déplaisant	glissant	net	scie à bois	

Puisque la liste contient de multiples termes et que leur sens n'est pas toujours évident, la liste a été réduite en suivant les recommandations de la norme NF-ISO 11035[214].

20.2.2 Elimination des termes par un premier tri (qualitatif)

Les 114 mots cités dans le Tableau 50 comprennent tous les termes : descriptifs, hédoniques, non pertinents, des termes qui n'ont pas le même sens pour tous les panélistes et des termes qui sont considérés comme des références. Tous les termes non descriptifs ont été supprimés. Ces termes ont été classés dans le Tableau 51. Les termes non pertinents, qui ne sont pas adaptés à la description du son des textiles, comme *riche*, *grippé* et *large* ne peuvent pas être des descripteurs du bruit de frottement de l'étoffe. Nous pouvons remarquer qu'il y a des termes qui ont un autre sens par exemple : *effet tunnel*, *sec*. Ces termes sont aussi supprimés par les panelistes. D'autres termes qui peuvent être considérés comme des références tel '*bruit de scratche*, *bruit de papier de verre*, etc.' sont également éliminés.

Tableau 51 : Les termes non descriptifs supprimés

termes hédoniques	termes non pertinents	termes non compris dans le même sens par les sujets	termes concernant un autre sens	termes considérés comme références
agaçant	appuyé	decrescendos	effet tunnel	bruit d'air comprimé
consonant	brillant	emballage	glissant	bruit de scratche
dangereux	bruyant	émerisant	mal aux dents	bruit de cigale
déplaisant	couper	perçant	sec	bruit de frotté de polystyrène
désagréable	court	ronflant		bruit de galop
doux	écho	rugueux		bruit de locomotive à vapeur
effort	elliptique			bruit de maracas
énervant	éraillé			bruit de papier de verre
exaspérant	fin			bruit de sac de billes
gênant	fluent			bruit de scie à bois
horripilant	frottant			bruit de soupape vapeur
incommodant	frotti-frotta			bruit de tamis
mauvais	gras			bruit de fluide
piaulant	grippé			
pinçant	identifiable			
soulant	identique			
stressant	large			
	long			
	net			
	pointue			
	riche			
	rotatif			
	sable			
	souple			
	variable			
	vibré			

Le reste des termes qui sont considérés comme des termes descriptifs ont fait l'objet d'un long débat, car plusieurs termes provoquent la même sensation auditive chez les panélistes. C'est la

raison pour laquelle les panélistes ont décidé, par consensus, de les supprimer au profit d'un seul terme plus représentatif. C'est le cas des termes suivants :

- Les termes *strident*, *aigu* : les panélistes considèrent qu'un son strident est un son très aigu (extrêmement aigu sur une échelle d'intensité de la hauteur du son). Ils ont donc préféré garder le terme *aigu*.
- Les termes *intermittent*, *cadencé*, *cyclique*, *répétitif*, *rythmé*, *régulière*, *saccadé* donnent la même sens de sensation pour les panélistes, ils ont choisi le terme *rythmé*.
- Le terme *vif* a été supprimé au profit du terme *énergique*.

Ce tri qualitatif a été fait pendant deux séances.

27 termes descriptifs restent à la fin de ce premier tri qualitatif. Ces termes descriptifs sont classés par ordre alphabétique dans le Tableau 52.

Tableau 52 : Liste des 27 termes descripteurs après le premier tri

abrasif	grave	polyphonique
aigu	grinçant	pur
chuintant	homogène	râpant
couinant	intensif	rapide
crissant	lent	résonnant
disharmonique	limant	rythmé
énergique	lisse	sciage
graduel	monotone	sifflant
grattage	peinant	sourd

20.2.3 Elimination des termes grâce à un deuxième tri (quantitatif)

Pour établir ce type de tri, un formulaire « Quantification des descripteurs » a été présenté aux panélistes pour réévaluer le bruit de frottement des étoffes en attribuant un chiffre correspondant à leur intensité perçue sur l'échelle d'intensité mise dans le formulaire présenté dans la Figure 66. Comme nous avons 14 étoffes à tester, nous avons présenté 14 formulaires aux panélistes et nous avons extrait la fréquence de citation des descripteurs et l'intensité attribuée pour chacun lors de l'évaluation de toute la gamme des étoffes par tout le groupe des panélistes.

Pour avoir l'importance de chaque descripteur et pour effectuer un classement décroissant de cette importance, nous avons calculé la moyenne géométrique M correspondant à chaque descripteur. Dans notre cas, nous avons 14 étoffes et 11 panélistes. Le nombre total de fréquence de citation d'un descripteur F_t est 154, soit (14×11) . L'intensité totale pour un descripteur I_t est égale à 770, soit (5×154) . Le rapport de fréquence de citation d'un descripteur F_d à la fréquence de citation totale F_t est présenté par la valeur F dans le Tableau 53. Le rapport de l'intensité cumulée d'un descripteur I_d à l'intensité totale I_t est présenté par la valeur I dans le Tableau 54. Les étoffes dans ces deux tableaux ont été nommées par T_i .

Nom et prénom :

Produit N°.....

Date :

Évaluez chacun des descripteurs suivant pour chaque produit à l'aide de l'échelle d'intensité :

Descripteur	Non perçu Faible Plutôt faible Moyen Plutôt fort Fort					
	0	1	2	3	4	5
descripteur						
abrasif						
aigu						
chuintant						
couinant						
crissant						
disharmonique						
énergique						
graduel						
grattage						
grave						
grinçant						
homogène						
intensif						
lent						
limant						
lisse						
monotone						
peinant						
polyphonique						
pur						
râpant						
rapide						
résonnant						
rythmé						
sciage						
sifflant						
sourd						

Figure 66 : Formulaire du deuxième tri (quantitatif)

Tableau 53 : Rapport de fréquence de citation des descripteurs à la fréquence de citation totale

descripteur \ étoffe	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	F _d	F=F _d /F _t (154)%
	abrasif	9	10	11	9	10	9	9	9	10	9	9	11	10	11	136
aigu	11	11	10	8	11	9	6	10	10	10	9	8	10	8	131	85,1%
chuintant	6	7	7	5	6	6	3	4	5	3	6	5	4	4	71	46,1%
couinant	7	8	5	5	9	4	2	7	7	5	4	5	6	5	79	51,3%
crissant	7	9	9	5	8	9	8	9	8	7	5	4	6	5	99	64,2%
disharmonique	7	7	7	6	6	6	6	6	7	5	7	8	8	8	94	61,1%
énergique	10	8	8	9	8	8	7	11	10	9	8	8	10	8	122	79,2%
graduel	4	4	6	4	4	5	5	6	6	6	5	7	8	7	77	50,0%
grattage	8	8	9	6	5	5	5	10	10	6	7	7	7	8	101	65,5%
grave	6	3	9	8	5	7	7	9	10	9	9	9	8	7	106	68,8%
grinçant	7	7	6	6	6	6	4	7	7	8	6	6	7	6	89	57,7%
homogène	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	6	5	3	4	62	40,2%
intensif	8	9	7	6	8	5	7	9	7	5	7	6	6	7	97	62,9%
lent	8	6	10	9	8	9	7	6	11	8	5	8	10	8	113	73,3%
limant	8	8	7	8	7	6	6	6	7	6	7	6	7	7	96	62,3%
lisse	4	3	4	3	5	4	5	3	2	4	8	1	4	3	53	34,4%
monotone	5	2	4	4	4	4	6	5	5	5	4	4	3	4	59	38,3%
peinant	6	3	7	4	6	9	5	5	8	8	5	7	9	7	89	57,7%
polyphonique	6	8	7	8	5	6	6	7	6	6	6	7	7	7	92	59,7%
pur	2	2	2	6	2	3	3	3	3	3	5	3	3	3	43	27,9%
râpant	8	6	8	8	6	6	7	8	8	7	5	9	8	9	103	66,8%
rapide	8	10	10	9	9	9	10	10	10	10	11	10	11	10	137	88,9%
résonnant	1	4	6	5	5	4	4	6	8	6	6	7	7	5	74	48,1%
rythmé	9	11	10	9	7	9	9	10	8	10	9	9	10	10	130	84,4%
sciage	10	8	7	11	9	10	8	11	11	10	10	7	8	9	129	83,7%
sifflant	5	7	3	4	7	7	3	6	8	7	8	4	6	5	80	51,9%
sourd	4	1	4	6	5	5	9	7	5	5	8	4	8	6	77	50,0%

Tableau 54 : Rapport de la somme des intensités cumulées des descripteurs à l'intensité totale

étoffe descripteur	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	I _d	I=I _d /I _t (770%)
abrasif	33	36	37	29	25	29	29	32	33	31	24	40	33	36	447	58,1%
aigu	33	40	25	16	33	22	11	20	25	23	15	18	26	21	328	42,6%
chuintant	11	16	12	9	12	9	6	6	9	8	11	11	11	9	140	18,1%
couinant	11	16	6	7	17	6	3	9	13	7	5	10	12	6	128	16,6%
crissant	14	25	21	11	18	15	17	17	17	17	13	14	20	16	235	30,5%
disharmonique	15	18	13	12	11	12	10	12	16	11	12	20	19	19	200	25,9%
énergique	24	29	19	19	18	19	16	31	20	18	17	18	17	20	285	37,1%
graduel	6	7	17	10	9	12	10	9	13	14	9	12	19	12	159	20,6%
grattage	27	20	27	14	14	14	14	24	23	16	18	20	15	17	263	34,6%
grave	11	6	18	17	10	16	18	13	14	14	20	16	13	20	206	26,7%
grinçant	12	16	12	12	14	12	8	10	18	16	7	10	11	13	171	22,2%
homogène	14	11	9	12	13	11	18	10	10	11	10	10	6	8	153	19,8%
intensif	21	27	19	16	18	13	15	18	18	15	13	10	12	16	231	30,1%
lent	16	11	16	18	18	18	14	7	18	15	11	16	23	13	214	27,7%
limant	23	18	23	21	19	19	15	20	21	23	19	19	20	19	279	36,2%
lisse	13	10	9	7	12	11	9	8	6	11	12	5	11	7	131	17,1%
monotone	11	5	8	10	11	12	15	9	10	10	9	6	7	6	129	16,7%
peinant	8	5	17	14	10	22	9	7	15	12	7	13	25	11	175	22,7%
polyphonique	15	24	19	12	12	17	11	16	19	17	15	24	20	20	241	31,3%
pur	5	6	5	2	6	5	5	6	7	8	7	4	5	6	77	10,1%
râpant	21	20	29	19	16	21	15	21	22	20	14	31	17	22	288	37,4%
rapide	27	34	24	26	23	22	28	30	20	20	25	18	17	24	338	43,9%
résonnant	2	11	10	7	11	11	9	7	13	11	7	17	16	10	142	18,4%
rythmé	35	35	32	31	26	27	29	29	24	29	29	34	26	33	419	54,4%
sciage	36	30	27	32	27	26	23	25	36	31	23	18	20	26	380	49,3%
sifflant	9	16	6	7	21	12	3	13	13	11	12	5	11	5	144	18,7%
sourd	6	1	6	11	6	9	20	9	5	7	16	5	10	8	119	15,4%

A partir des valeurs des grandeurs F et I obtenus dans le Tableau 53 et le Tableau 54 respectivement, nous avons calculé la moyenne géométrique attribuée à chaque descripteur. Le classement décroissant des valeurs des moyennes géométriques présenté dans le Tableau 55 conduit à conclure que les descripteurs : *abrasif*, *rythmé*, *sciage*, *rapide*, *aigu* ont la valeur la plus importante tandis que la moyenne géométrique du descripteur *pur* a la valeur la moins importante (16,71 %) ce qui confirme que la force de ce descripteur est relativement faible. La discussion avec les panélistes a conduit à éliminer ce descripteur de la liste. Ceci sera aussi justifié dans le tri suivant.

Tableau 55 : Moyenne géométrique des descripteurs

descripteur	moyenne géométrique
abrasif	71,6%
rythmé	67,7%
sciage	64,3%
rapide	62,4%
aigu	60,2%
énergique	54,5%
râpant	50,2%
limant	47,5%
grattage	47,3%
lent	45,6%
crissant	44,2%
intensif	43,4%
polyphonique	43,2%
grave	42,9%
disharmonique	39,8%
peinant	36,2%
grinçant	35,8%
graduelle	32,13%
sifflant	31,6%
résonnant	29,7%
couinant	29,2%
chuintant	28,9%
homogène	28,2%
sourd	27,8%
monotone	25,3%
lisse	24,2%
pur	16,7%

20.2.4 Elimination des termes par un troisième tri (statistique)

Ce tri s'est fait en appliquant l'Analyse en Composante Principale (ACP). A partir du Tableau 54, nous avons construit une matrice produits/descripteurs où les colonnes de cette matrice présentent les descripteurs (variables initiales) et les lignes présentent les étoffes (observations). Nous avons fait subir à cette matrice une analyse factorielle (analyse en composantes principales normée).

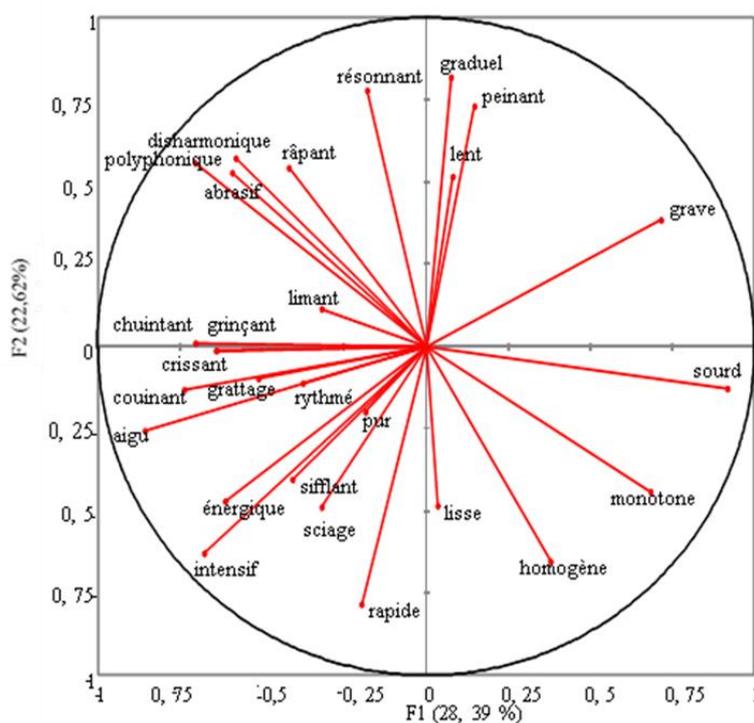
- La première étape dans ce tri est de choisir le nombre d'axe (F_i): cette étape a été faite en prenant en compte les critères précédemment mentionnés (Cf. Partie bibliographique – Chapitre 3, §14.3), soit la valeur propre et le pourcentage cumulé.

Tableau 56 : Valeurs propres des facteurs

axe \ valeur propre	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
valeur propre	7,7	6,1	4,0	2,4	1,7	1,4	1,1	0,8	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1
variabilité (%)	28,4	22,6	14,7	8,9	6,2	5,1	3,9	3,0	2,6	1,7	1,5	0,9	0,4
% cumulé	28,4	51,0	65,7	74,6	80,8	85,9	89,8	92,9	95,5	97,2	98,7	99,6	100,0

A partir du Tableau 56, nous trouvons que les cinq premiers facteurs ont les valeurs propres et le pourcentage cumulé les plus importants et conduisent à obtenir une représentation de 80,8% des données. Les axes choisis sont alors F1, F2, F3, F4, F5.

- La deuxième étape de ce tri consiste à visualiser graphiquement la position des descripteurs sur le cercle de corrélation. Dans la première représentation graphique, les variables sont présentées sur les deux premiers axes (F1, F2) qui se présentent 51,01% de l'information totale.

**Figure 67 : Cercle de corrélation des descripteurs dans l'espace factoriel (F1, F2)**

Le cercle de corrélation montre les termes qui sont antagonistes : *grave-aigu*, *lent-rapide*, *homogène-disharmonique*, *lisse-graduel* et *monotone-polyphonique*. Dans l'espace factoriel (F1, F3) présenté dans la Figure 68 le terme *sourd* est opposé au terme *intensif*. Les termes *peinant-*

énergique sont opposés dans l'espace (F1, F5) présenté dans la Figure 70. Les panelistes ont jugé que ces termes sont antagonistes et le résultat obtenu dans l'analyse statistique indique que la définition de ce terme n'est pas encore assez claire pour tout le panel.

Le terme *crissant* et le terme *grinçant* sont confondus sur le cercle de corrélation (Figure 67), les panélistes ont éliminé le terme *crissant* au profit du terme *grinçant*.

Le terme *pur* a été éliminé parce qu'il est mal positionné sur le cercle de corrélation où il est proche de centre de l'origine et il a la moyenne géométrique la moins élevée. Le terme *lisse* est proche de centre du cercle de corrélation mais les panélistes préfèrent le garder pour la première étape de l'entraînement, car il est opposé au terme *graduel* dans l'espace (F1, F2) dans la Figure 67.

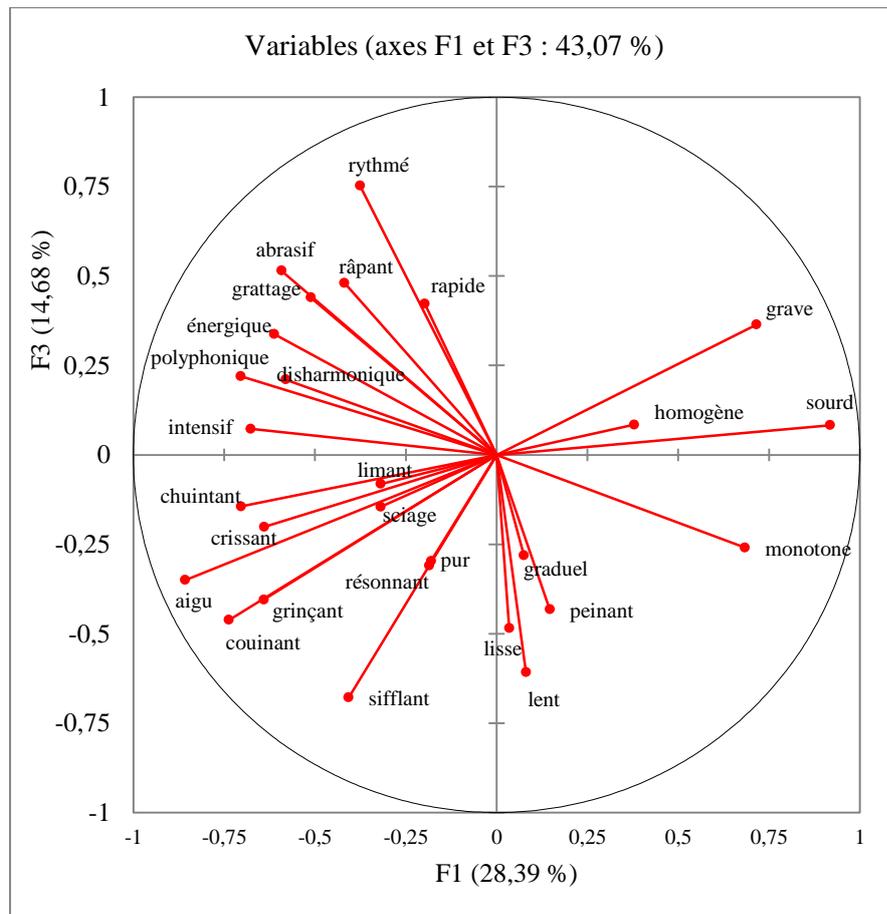


Figure 68 : Cercle de corrélation des descripteurs dans l'espace factoriel (F1, F3)

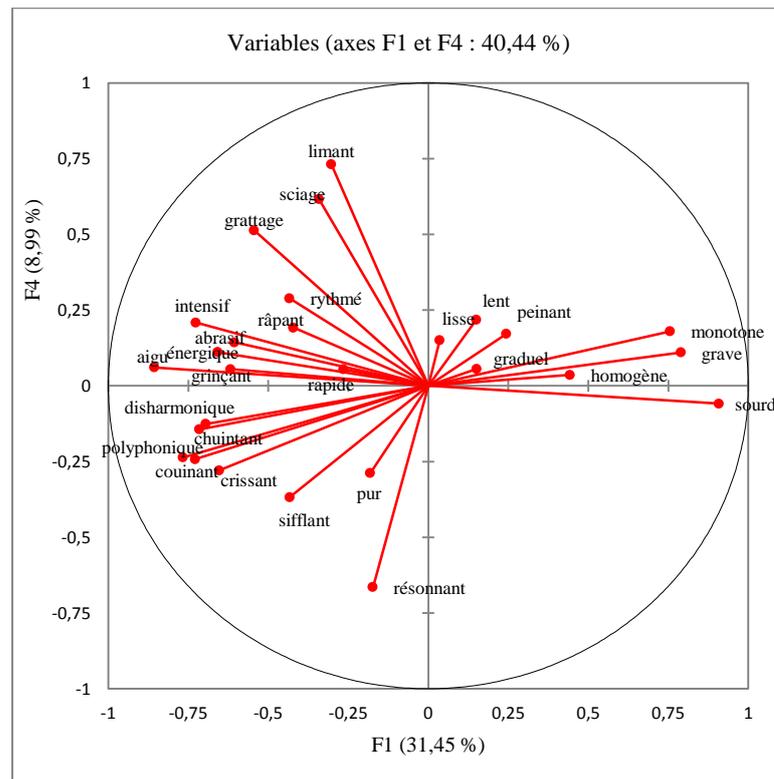


Figure 69 : Cercle de corrélation des descripteurs dans l'espace factoriel (F1, F4)

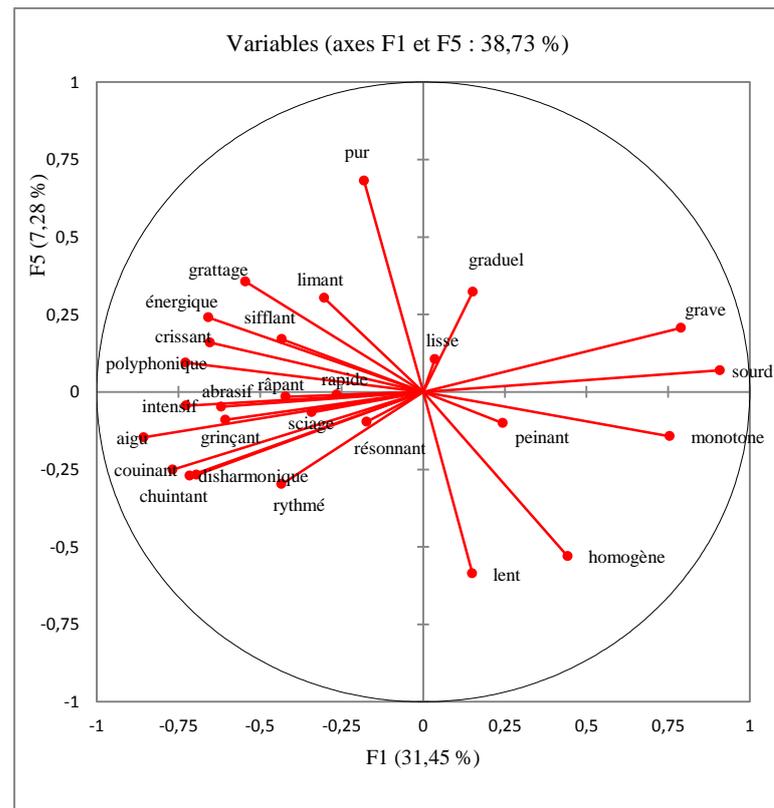


Figure 70 : Cercle de corrélation des descripteurs dans l'espace factoriel (F1, F5)

D'après les cercles de corrélation nous pouvons regrouper les termes antagonistes en seul descripteur bipolaire : *grave-aigu*, *lent-rapide*, *homogène-disharmonique*, *lisse-graduel*, *monotone-polyphonique*, *peinant-énergique*, *sourd-intensif*. Pour justifier ce regroupement des termes opposés

nous avons comparé le coefficient de corrélation de chaque terme avec les axes du plan factoriel, ainsi que leur contribution à cet axe (cosinus carré). Le coefficient de corrélation entre les termes antagonistes en question a été également calculé.

Le coefficient de corrélation entre les termes et les axes principaux, ainsi leur contribution sur l'axe sont présentées dans le Tableau 57.

Tableau 57 : Corrélation entre les variables initiales et les 3 premières composantes principales

descripteur \ corrélation	coefficient de corrélation					cosinus carré				
	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
abrasif	-0,59	0,53	0,51	0,08	0,06	0,35	0,28	0,26	0,07	0,04
aigu	-0,86	-0,26	-0,35	0,02	0,16	0,74	0,07	0,12	0,01	0,02
chuintant	-0,70	0,01	-0,14	-0,24	0,33	0,50	0,00	0,02	0,05	0,11
couinant	-0,74	-0,13	-0,46	-0,15	0,20	0,54	0,02	0,21	0,02	0,04
crissant	-0,64	-0,01	-0,20	-0,34	0,16	0,41	0,00	0,04	0,12	0,02
disharmonique	-0,58	0,57	0,21	-0,23	0,15	0,34	0,33	0,04	0,05	0,02
énergique	-0,61	-0,47	0,34	-0,05	0,19	0,38	0,22	0,11	0,03	0,03
graduel	0,08	0,82	-0,28	0,13	0,21	0,01	0,67	0,08	0,01	0,04
grattage	-0,51	-0,10	0,44	0,43	0,23	0,26	0,01	0,19	0,19	0,05
grave	0,72	0,38	0,36	0,13	0,19	0,51	0,15	0,13	0,01	0,03
grinçant	-0,64	-0,01	-0,41	0,35	0,08	0,41	0,00	0,16	0,12	0,00
homogène	0,38	-0,65	0,08	0,03	0,37	0,14	0,43	0,01	0,01	0,14
intensif	-0,68	-0,63	0,07	0,08	0,05	0,46	0,40	0,01	0,07	0,0
lent	0,08	0,52	-0,61	0,27	0,50	0,01	0,27	0,37	0,07	0,25
limant	-0,32	0,11	-0,08	0,82	0,15	0,10	0,01	0,01	0,67	0,02
lisse	0,03	-0,48	-0,48	-0,03	0,02	0,00	0,23	0,24	0,01	0,0
monotone	0,68	-0,44	-0,26	0,27	0,12	0,47	0,19	0,07	0,07	0,01
peinant	0,15	0,73	-0,43	0,21	0,14	0,02	0,53	0,19	0,04	0,02
polyphonique	-0,70	0,56	0,22	-0,22	0,13	0,50	0,31	0,05	0,04	0,01
pur	-0,19	-0,20	-0,31	-0,08	0,79	0,03	0,04	0,10	0,07	0,63
râpant	-0,42	0,54	0,48	0,33	0,04	0,18	0,30	0,23	0,11	0,0
rapide	-0,20	-0,78	0,42	-0,21	0,04	0,04	0,61	0,18	0,04	0,0
résonnant	-0,18	0,78	-0,30	-0,37	0,01	0,03	0,61	0,09	0,14	0,0
rythmé	-0,38	-0,11	0,75	-0,01	0,32	0,14	0,01	0,57	0,0	0,1
sciage	-0,32	-0,49	-0,15	0,69	0,04	0,10	0,24	0,02	0,48	0,02
sifflant	-0,41	-0,40	-0,68	-0,19	0,16	0,17	0,16	0,46	0,03	0,02
sourd	0,92	0,13	0,08	-0,21	0,05	0,84	0,02	0,01	0,04	0,02

Le signe (+/-) montre que la variable est corrélée (positivement/négativement) avec l'axe principal. Plus le cosinus carré est grand (proche de 1), plus l'angle entre le vecteur du descripteur et l'axe est petit et mieux le terme contribue à l'axe. Au contraire, plus le vecteur est loin de l'axe, plus l'angle en question est grand et plus le cosinus carré est proches de 0 ; le descripteur ne contribue pas forcément à l'axe.

- Nous pouvons observer que les termes qui sont opposés sur l'axe F1 sont : *grave*, *aigu* avec un coefficient de corrélation avec cet axe de (0,72) et de (-0,86) respectivement. Les termes *sourd*, *intensif* avec un coefficient de corrélation de (0,92) et (-0,68) respectivement. Les termes *monotone*, *polyphonique* avec un coefficient de corrélation de (0,68) et (-0,70)

respectivement. La contribution (le cosinus carré) de ces descripteurs à cet axe est plus importante que pour les autres axes.

- Les termes opposés sur l'axe F2 sont : *lent*, *rapide* où leur coefficient de corrélation avec l'axe est de (0,52) et de (-0,78) dans l'ordre. Les termes *homogène*, *disharmonique* avec un coefficient de corrélation (-0,65) et (0,57) respectivement. Les termes *peinant*, *énergique* avec un coefficient de corrélation (0,73) et (-0,47) dans l'ordre. Les termes *lisse*, *graduel* avec un coefficient de corrélation (-0,48) et (0,82) respectivement mais ce terme a été éliminé pour des raisons exposées ultérieurement.

Les coefficients de corrélation entre les termes opposés sont présentés dans le Tableau 58. Par exemple, pour les termes *aigu*, *grave*, le coefficient de corrélation est important (-0,85) ce qui confirme que *grave* et *aigu* sont vraiment opposés. Les termes *lent*, *rapide* ont également un coefficient de corrélation important (-0,71). Le coefficient de corrélation entre les autres termes de la liste obtenue pour ce tri est présenté dans l'annexe 10.

Tableau 58 : Coefficient de corrélation des descripteurs dipolaires

descripteur dipolaire	coefficient de corrélation
grave-aigu	-0,85
lent-rapide	-0,71
monotone-polyphonique	-0,83
homogène-disharmonique	-0,58
peinant-énergique	-0,48
sourd-intensif	-0,50
lisse-graduel	-0,19

A partir du Tableau 58, nous pouvons observer que les descripteurs *homogène-disharmonique*, *peinant-énergique*, *sourd-intensif* n'ont pas un coefficient de corrélation très important, mais ils sont négativement corrélés sur le cercle de corrélation et les panélistes sont tout à fait d'accord pour les utiliser comme descripteurs bipolaires dans la liste finale. Les termes *lisse*, *graduel* ont un coefficient de corrélation très faible (-0,19). Le terme *lisse* est mal positionné sur le cercle de corrélation (proche de l'origine). C'est la raison pour laquelle le terme *lisse* a été éliminé de la liste et les membres du panel sont d'accord avec cette élimination. Le terme *graduel* est positivement corrélé avec le terme *peinant* qui présente un coefficient de corrélation important (0,81) comme cela est présenté dans l'annexe 10. Ainsi, les deux termes *graduel*, *peinant* sont classés dans le même groupe selon le test CHA (Classification Hiérarchique Ascendant) qui a été faite sur la matrice produit/descripteur (voir la Figure 71). De plus, ces deux termes sont proches l'un de l'autre sur le cercle de corrélation présenté dans la Figure 67. La discussion avec le groupe de panélistes nous a permis d'éliminer le terme *graduel* au profit du terme *peinant*. Par conséquent, le descripteur *lisse-graduel* a été éliminé de la liste obtenue.

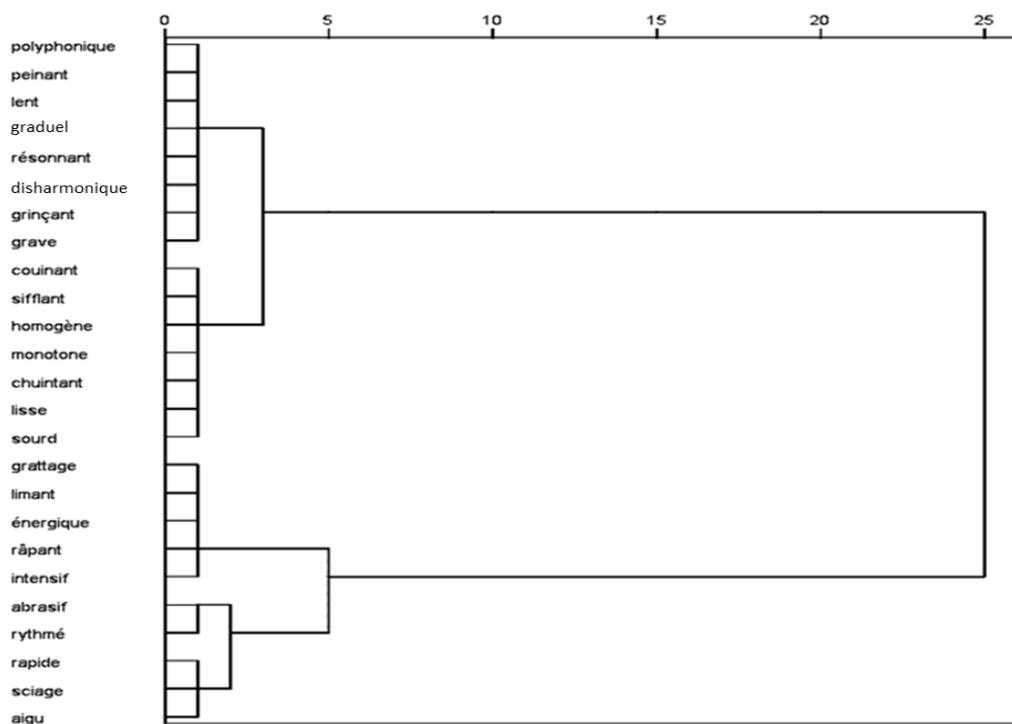


Figure 71 : CHA pour les descripteurs descriptifs

- Les termes *grattage*, *râpant* sont proches sur le cercle de corrélation (Figure 68) avec un coefficient de corrélation (0,55), ils sont dans le même groupe dans la Figure 71. De plus, le coefficient de corrélation entre *râpant* et *abrasif* est (0,83), voir l'annexe 10, tandis qu'il est (0,51) entre *grattage* et *abrasif*. La discussion avec les panelistes nous a permis d'éliminer le terme *râpant* au profit du terme *grattage*. La liste est maintenant réduite à 16 descripteurs, dont 6 descripteurs bipolaires.

21 RESULTATS

21.1 LA LISTE DESCRIPTIVE

La liste finale obtenue est présentée dans le Tableau 59.

Tableau 59 : Liste finale des descripteurs descriptifs

grave-aigu	sciage
lent-rapide	limant
monotone-polyphonique	abrasif
homogène-disharmonique	grinçant
peinant-énergique	chuintant
sourd-intensif	couinant
rythmé	sifflant
grattage	résonnant

Cette liste va être utilisée pour entraîner les panélistes afin de contrôler leurs performances, avant de passer à l'étape suivante qui concerne la caractérisation sensorielle du bruit de frottement des étoffes textiles.

21.2 ENTRAINEMENT DE PANEL A L'EMPLOI DE LA LISTE REDUITE

La première démarche d'entraînement des panélistes a été faite en seule séance avec un seul enregistrement de bruit. Le but de cette étape est de voir comment varie l'évaluation d'un bruit de frottement d'étoffe en fonction des notes données par les panélistes pour chaque descripteur. En même temps, cette démarche a pour but de vérifier la compréhension des descripteurs par tout le groupe des panélistes. Les panélistes ont écouté le bruit de frottement de l'étoffe en coton écru d'armure chevron, en utilisant un casque (cf. fiche technique dans *l'annexe 5*). L'enregistrement du bruit, pendant 20 secondes, a été mis en boucle de répétition pour laisser le temps aux panélistes de noter l'intensité de la sensation pour chaque descripteur. Les panélistes ont utilisé une échelle d'intensité, linéaire non structurée, allant de 0 (extrémité gauche) à 10 (extrémité droite). Cette échelle est présentée dans le questionnaire auditif figurant en *l'annexe 12*. La réponse des panélistes concernant chaque descripteur est présentée dans la Figure 72. Cette réponse présente la note attribuée au descripteur, par le panéliste, pour une seule reprise d'évaluation auditive du bruit de frottement de l'étoffe choisie. Comme les panélistes ne sont pas encore entraînés, les résultats sont assez hétérogènes. Les réponses des panélistes sont présentées sous forme d'un profil 'serpent'. Le profil nous montre la variation de la note en fonction des panélistes.

Les graphes présentés dans la Figure 72 représentent les notes des panélistes pour tous les descripteurs.

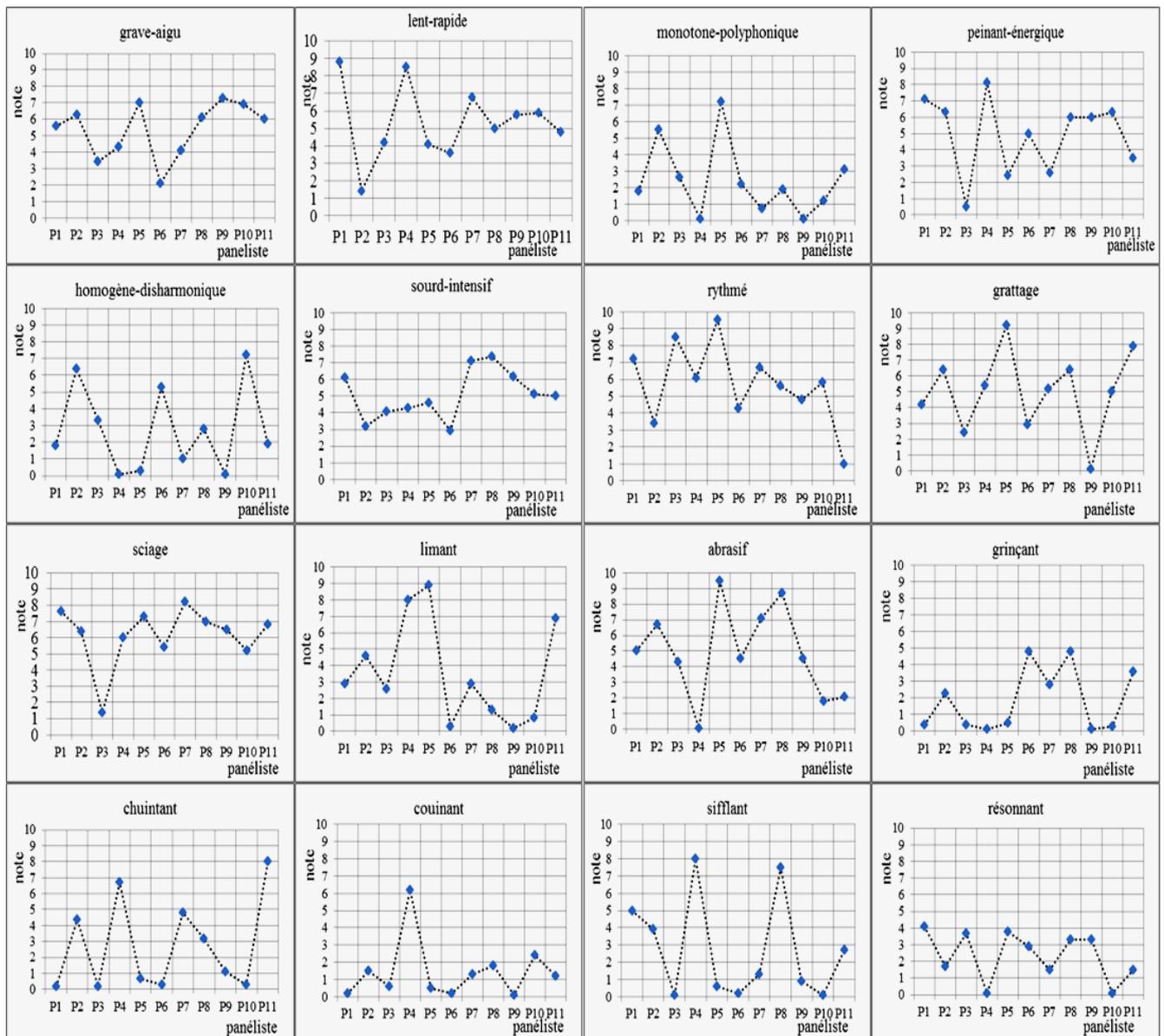


Figure 72 : Notes attribuées aux descripteurs dans la première phase d'entraînement

En prenant, par exemple, le descripteur *grave-aigu*, on voit bien que les notes données par les panélistes ne sont pas trop écartées (de 3,4 à 7,3) sauf pour le panéliste P6, dont la note est de (2,1). Une discussion avec lui a été nécessaire pour comprendre pourquoi il a attribué cette note et s'il a compris ce descripteur de la même façon que les autres panélistes. Pour les autres descripteurs, on peut observer qu'il existe deux ou trois panélistes dans le groupe qui évaluent les descripteurs d'une manière différente des autres. Les discussions avec ces panélistes sont nécessaires pour que tous les panélistes donnent des réponses le plus homogène possible. Le descripteur *rythmé* a été évalué dans une fourchette de 3,4 à 7,2, par tous les panélistes, sauf les panélistes P5 (9,5), P3 (8,5) et P11(1). Pour le descripteur *chuintant* : le groupe des panélistes était divisé en deux pour l'évaluation. Nous pouvons voir que les panélistes P1, P3, P5, P6, P9 et P10 ont mis des notes moins importantes (de 0,3 à 1,1) que les panélistes P2, P4, P7, P8, et P11 qui l'ont noté (de 3,2 à 8). La discussion avec les panélistes a conduit à garder ce descripteur dans la liste finale pendant les premières séances

d'entraînement en demandant un rappel de sa définition au moment de l'évaluation auditive des étoffes. Ce rappel peut aider à éviter un intervalle trop important qui existerait entre les notes données en première évaluation. En général, pour la première séance d'entraînement, il est attendu de constater les réponses hétérogènes des panélistes, ce que nous avons obtenu.

Pour les évaluations suivantes, les panélistes ont évalué le bruit des étoffes pendant cinq séances successives et leurs performances ont été contrôlées.

21.2.1 Contrôle les performances des panélistes

Trois critères de performances des panélistes ont été contrôlés : la répétabilité, le pouvoir de discrimination et l'homogénéité des réponses des panélistes. Dans le premier temps, ces performances ont été contrôlées pour le bruit généré, par le frottement de 14 étoffes déjà mentionnées dans le Tableau 5, et enregistré pour la vitesse de marche. Dans les paragraphes suivants nous allons discuter de ces performances successivement.

21.2.1.1 La répétabilité des panélistes

La répétabilité est contrôlée en utilisant l'analyse de variance **ANOVA** pour un facteur (produit). Nous avons calculé l'erreur produite pour chaque répétition de jugement, l'erreur obtenue entre deux reprises (séances) de l'évaluation auditive. Cette erreur (ε) a été déjà présentée dans la partie bibliographique (Cf. §12.3.3.2) et elle a été calculée en utilisant le logiciel Tastel [228].

Une valeur critique donnée par le logiciel pour juger la répétabilité du panéliste, soit $\varepsilon = 1$. Toutes les erreurs qui dépassent la valeur critique mènent à considérer que le panéliste n'est pas répétable. Moins cette erreur est importante, plus le panéliste est répétable.

L'erreur faite par chaque panéliste est calculée et comparée pour 4 répétitions, sachant que la répétition représente deux évaluations successives dans deux séances. Par exemple ; l'erreur faite à la répétition 1 représente l'erreur faite, en terme de répétabilité de la réponse auditive, entre la séance 1 et la séance 2. Quelques exemples de la répétabilité des panélistes sont présentés dans les figures suivantes (Figure 73, Figure 74, Figure 75, Figure 76 et Figure 77). Les autres résultats en terme de répétabilité sont présentés dans *l'annexe 11*.

La Figure 73 et la Figure 74 présentent la répétabilité des panélistes P2 et P7 respectivement. D'après ces figures, nous constatons que les deux panélistes sont répétables dès la première répétition. Nous pouvons voir que l'erreur est faible $\varepsilon < 0,5$ sauf avec le descripteur *couinant* : le panéliste P7 a fait une erreur de 0,65 à la première répétition et que l'erreur diminue d'une répétition à l'autre ce qui signifie que le panéliste donne des réponses qui sont de plus en plus similaires et que la variance d'une séance à l'autre est de moins en moins importante.

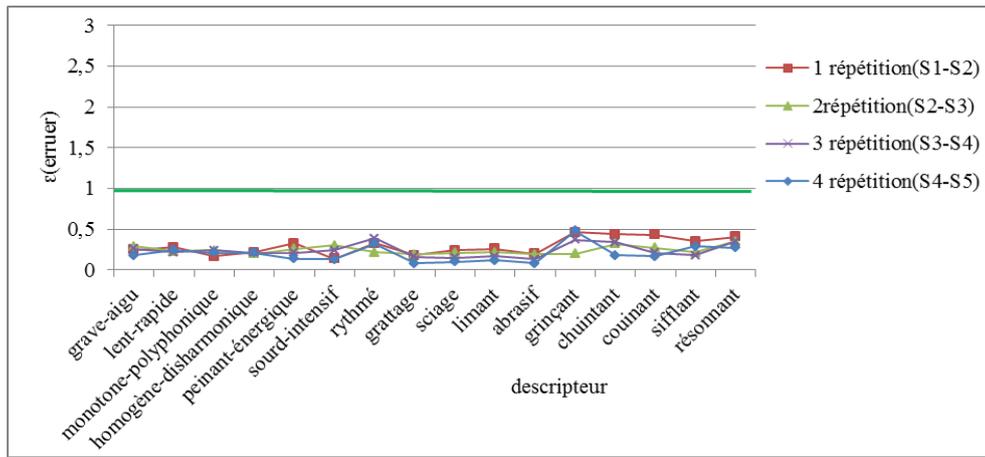


Figure 73 : Répétabilité du panéliste P2- marche

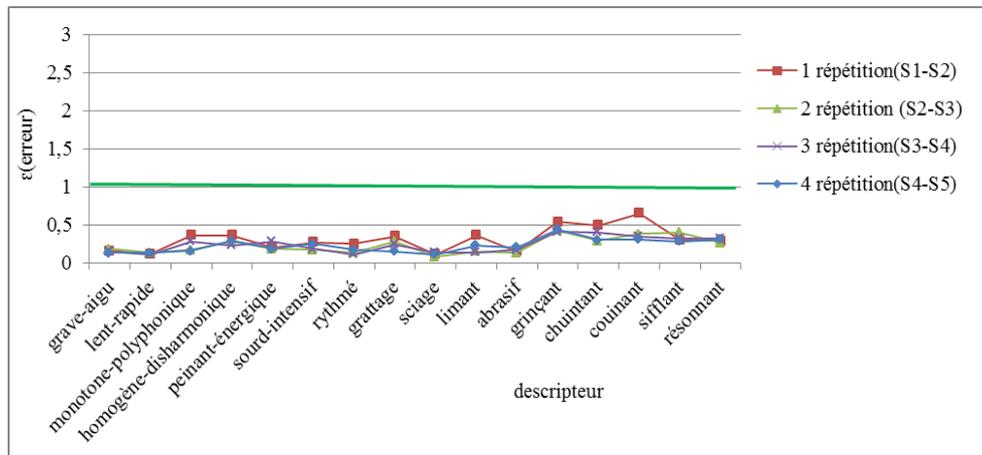


Figure 74 : Répétabilité du panéliste P7- marche

La Figure 75, présente la répétabilité du panéliste P6 après cinq séances d'entraînement. Au début de l'entraînement (répétition 1), l'erreur est assez importante et cela n'est pas une surprise car le panéliste n'est pas encore entraîné, mais dès la deuxième répétition l'erreur devient de moins en moins importante. Le panéliste est jugé de plus en plus répétable. Nous pouvons clairement observer que l'erreur faite pour tous les descripteurs à la quatrième répétition est moins importante que celle obtenue aux trois premières répétitions, sauf pour les descripteurs *grave-aigu*, *sifflant*, *résonnant*, *homogène-disharmonique* et *monotone-polyphonique* : l'erreur à la quatrième répétition augmente en comparaison avec l'erreur obtenue à la troisième répétition. Il semble que ce soit un « accident » puisque l'erreur diminue pour tous les autres descripteurs. Ce comportement sensoriel a été aussi observé chez le panéliste P8 (Figure 76), qui présente d'une perte auditive, à l'exception de l'erreur faite à la quatrième répétition pour les descripteurs *limant*, *abrasif* et *monotone-polyphonique* qui est plus importante que celle relevée à la troisième répétition. Cependant, cette erreur reste inférieure à 1 et le panéliste est répétable.

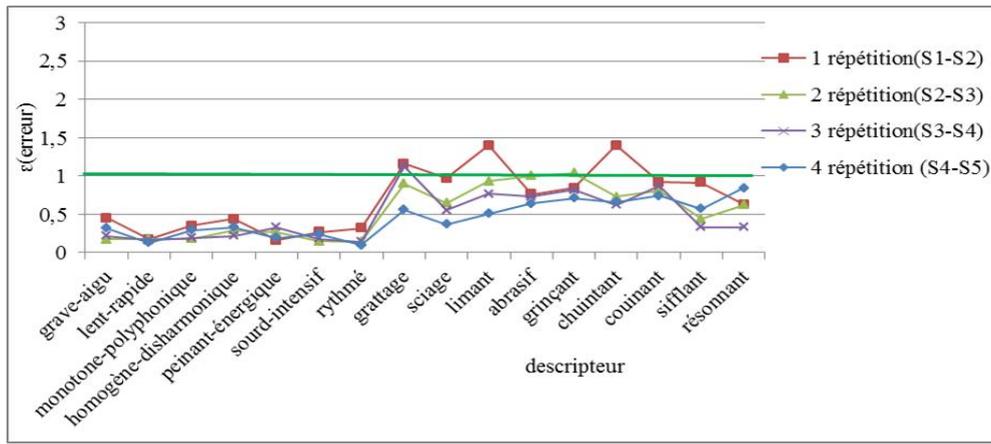


Figure 75 : Répétabilité du panéliste P6- marche

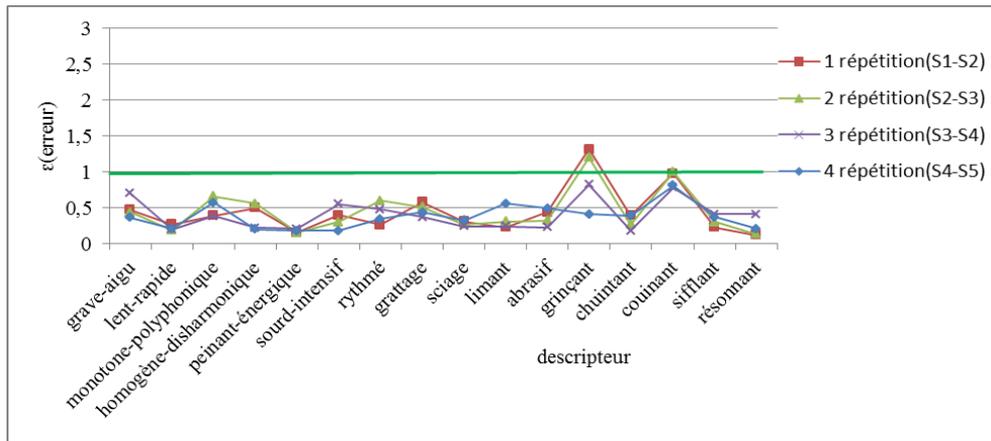


Figure 76 : Répétabilité du panéliste P8- marche

Les autres panélistes : P1, P3, P4, P9, P10 et P11 sont considérés comme répétables, puisque l'erreur faite après cinq séances d'entraînement (4 répétitions) est inférieure à 1. La Figure 77 présente la répétabilité du panéliste P5 en fonction des séances d'entraînement. Le panéliste P5 est considéré comme un panéliste non répétable pour quelques descripteurs (*homogène-disharmonique*, *grinçant* et *couinant*) puisque l'erreur devient plus importante ($1 < \epsilon$) avec les séances d'entraînement.

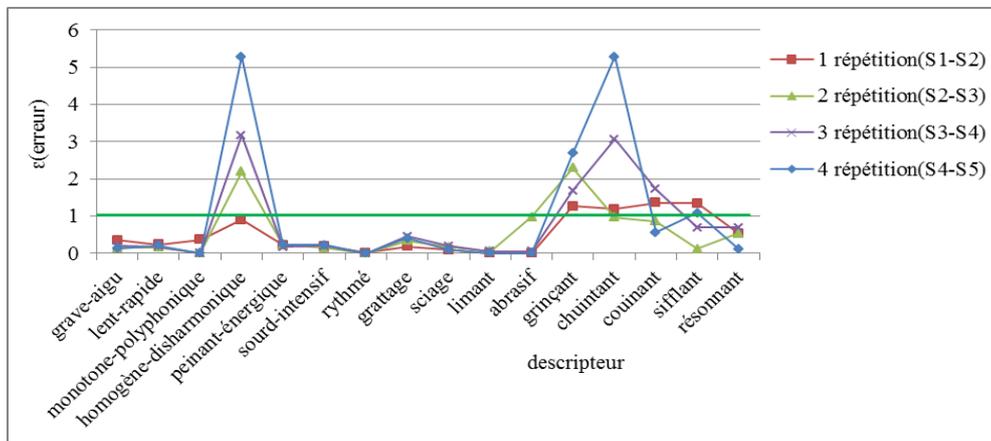


Figure 77 : Répétabilité du panéliste P5- marche

- Pour comparer la répétabilité des panélistes dans le but de juger les panélistes les plus et les moins répétables, pendant cinq séances d'entraînement, nous avons calculé l'indice de répétabilité (erreur), présenté dans l'équation 23 (§12.3.3.2), en prenant en compte la note moyenne des notes données par un panéliste pour toutes les étoffes évaluées, pour un descripteur donné, pendant toutes les séances d'entraînement.

L'indice de la répétabilité des panélistes, pour chaque descripteur à la vitesse de marche, est présenté dans le Tableau 60 et l'indice moyen pour tous les descripteurs est présenté dans la Figure 78. Nous constatons que les panélistes P2 et P7 sont les panélistes les plus répétables tandis que les panélistes P4 et P9 sont les moins répétables. Tous les panélistes présentent une erreur moyenne (indice de répétabilité) inférieure à 1, ce qui confirme que tous les panélistes sont acceptables en terme de répétabilité moyenne pour l'ensemble des descripteurs.

Tableau 60 : Indice de la répétabilité des panélistes - marche

descripteur \ panel	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
grave-aigu	0,2	0,23	0,28	0,58	0,28	0,33	0,17	0,48	0,31	0,2	0,22
lent-rapide	0,17	0,27	0,28	0,27	0,21	0,18	0,14	0,23	0,23	0,2	0,27
monotone-polyphonique	0,45	0,2	1,13	0,58	0,21	0,29	0,29	0,6	0,86	0,26	0,23
homogène-disharmonique	0,38	0,22	1,21	0,4	1,74	0,31	0,31	0,41	0,81	0,15	0,29
peinant-énergique	0,15	0,24	0,28	0,8	0,24	0,17	0,24	0,22	0,33	0,21	0,26
sourd-intensif	0,19	0,29	0,26	0,64	0,2	0,24	0,26	0,46	0,42	0,25	0,3
rythmé	0,19	0,3	0,13	0,34	0,01	0,23	0,2	0,41	0,3	0,21	0,96
grattage	0,76	0,15	0,47	0,83	0,36	0,93	0,26	0,24	0,8	0,62	0,78
sciage	0,51	0,18	0,46	0,82	0,14	0,7	0,14	0,31	0,56	0,33	0,2
limant	0,66	0,21	0,5	0,63	0,03	1,17	0,26	0,41	1,16	1,14	0,58
abrasif	0,35	0,16	0,37	0,58	0,03	0,9	0,19	0,42	0,77	0,45	0,38
grinçant	0,74	0,41	0,71	1,31	1,54	0,92	0,46	0,83	0,73	0,71	0,38
chuintant	1,11	0,33	1,16	0,89	1,98	0,99	0,37	0,34	0,89	0,47	0,17
couinant	0,58	0,39	1	1,47	1,63	0,86	0,48	0,97	0,77	1,17	0,65
sifflant	0,41	0,27	0,97	0,45	1,13	0,69	0,33	0,37	1,51	0,59	0,59
résonnant	0,47	0,37	0,26	0,81	0,33	0,72	0,32	0,17	1,68	0,57	0,45
indice moyen de répétabilité	0,45	0,26	0,6	0,71	0,62	0,6	0,27	0,44	0,93	0,47	0,41

Les valeurs en gris représentent un indice de répétabilité dépasse 1et une discussion avec les panélistes était nécessaire pour un tel(s) descripteur (s).

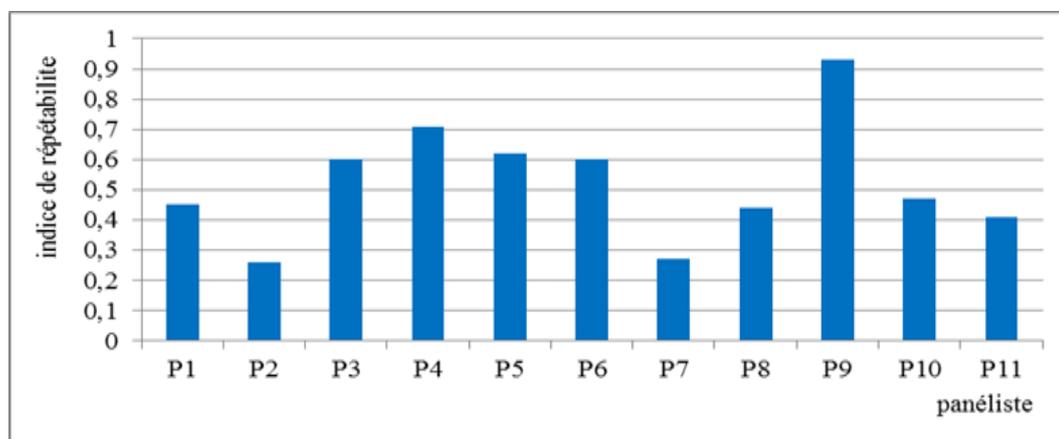


Figure 78 : Indice moyen de la répétabilité des panélistes- marche

- Pour comparer l'évaluation auditive du bruit de frottement d'une étoffe entre un panéliste de bonne répétabilité (P7 par exemple) et le panéliste le moins répétable (P9) : nous avons tracé le profil sensoriel pour l'étoffe en coton commercial d'armure toile. Ce profil représente la valeur moyenne donnée pour chaque descripteur pendant deux séances d'entraînement, les séances 4 et 5. Ce profil est comparé avec le profil établi par le groupe des panélistes dans les mêmes conditions (séances d'entraînement et étoffe choisie). Nous avons observé que le profil sensoriel établi par le panéliste répétable P7 (Figure 79) est plus proche à celui établi par le groupe des panélistes tandis que le profil établi par le panéliste le moins répétable P9 (Figure 80) est différent de celui établi par le groupe des panélistes, ce qui signifie que P9 utilise une grande partie de l'échelle lors de l'évaluation répétée ce qui confirme l'importance de continuer l'entraînement pour ce panéliste.

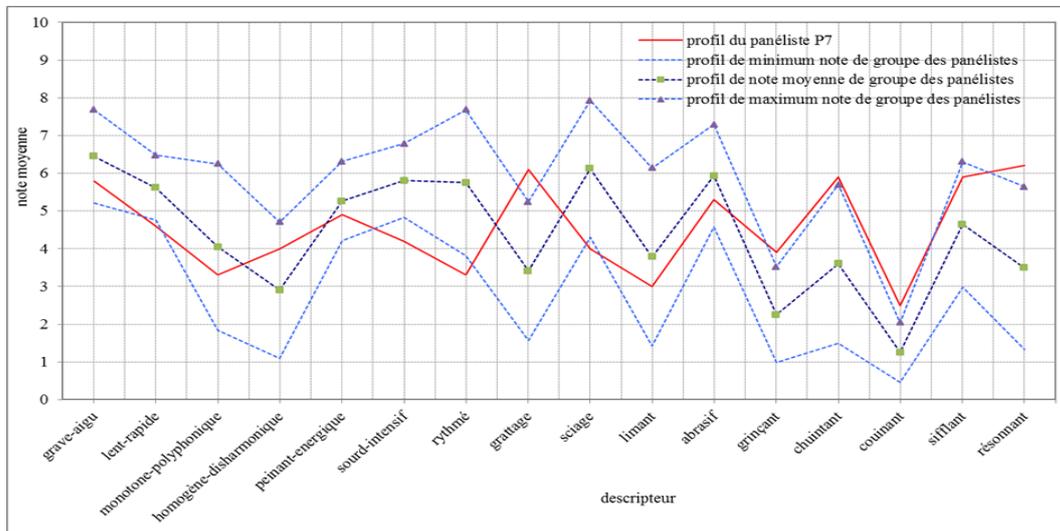


Figure 79 : Profil sensoriel d'un panéliste répétable (P7) pour l'étoffe en coton commercial d'armure toile- marche

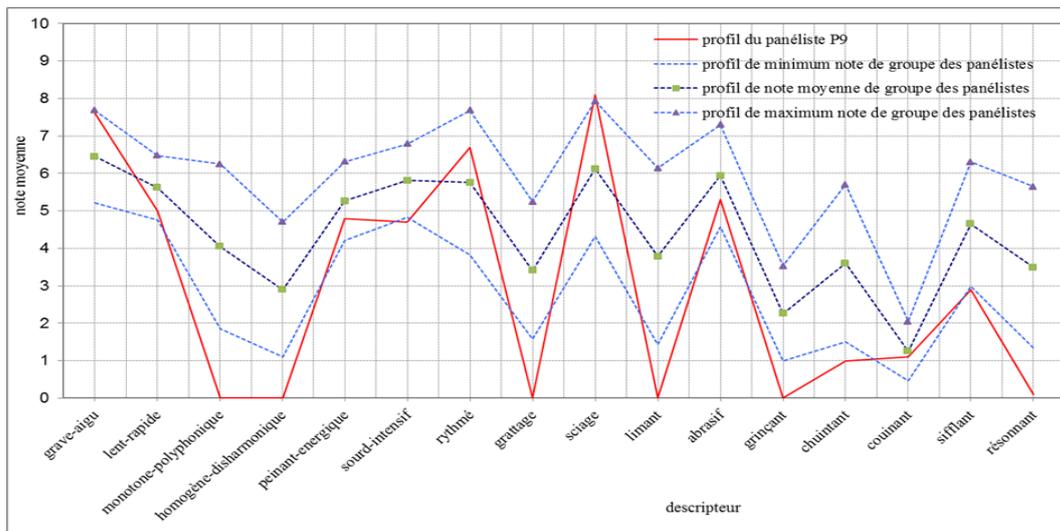


Figure 80 : Profil sensoriel d'un panéliste moins répétable (P9) pour l'étoffe en coton commercial d'armure toile- marche

Après avoir analysé la répétabilité individuelle des panélistes nous allons analyser la répétabilité de l'ensemble du panel.

- Pour évaluer la répétabilité de l'ensemble du panel pour un bruit d'étoffe précise : nous avons comparé la note attribuée à chaque descripteur, donnée par l'ensemble du panel, pour deux évaluations successives (séances 4 et 5). La Figure 81 présente le profil sensoriel de l'étoffe commerciale en polyamide, armure satin 3, pour les deux évaluations. Nous pouvons observer qu'il n'y a pas de différence importante entre les notes données pendant les deux séances. Sauf pour le descripteur *limant*, la note moyenne varie d'une unité sur l'échelle d'intensité, cela peut vouloir dire que certains panélistes ont une mauvaise répétabilité individuelle pour ce descripteur.

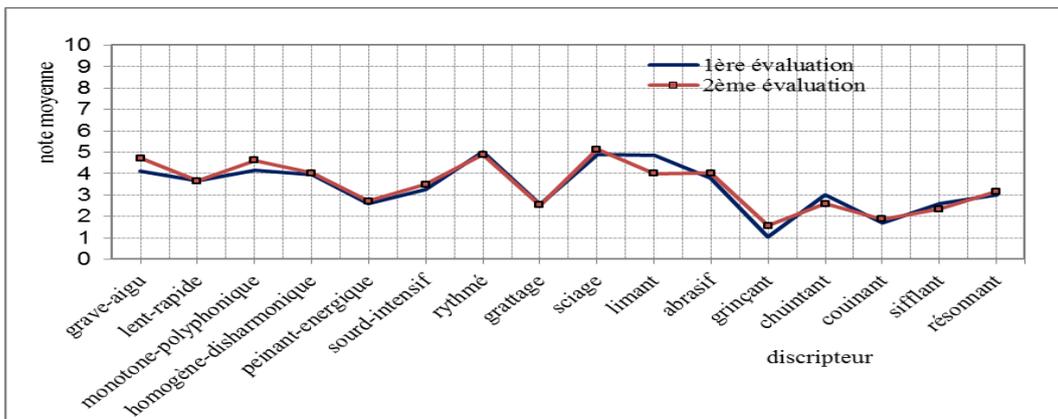


Figure 81 : Répétabilité du panel pour l'étoffe commerciale en polyamide d'armure satin 3- marche

Une autre comparaison de la moyenne du panel a été faite pour l'étoffe en coton écru d'armure satin 5. Le profil des notes moyennes du panel pour les deux évaluations est présenté dans la Figure 82. La note moyenne du groupe varie d'une manière plus importante pour le descripteur *abrasif*. Ainsi, la note donnée au descripteur *limant* varie pour le bruit de cette étoffe. Ceci nous conduit à vérifier si ce décalage entre les deux évaluations revient à une mauvaise répétabilité individuelle de certains panélistes ou à cause de désaccords parmi les panélistes pour ce(s) descripteur (s).

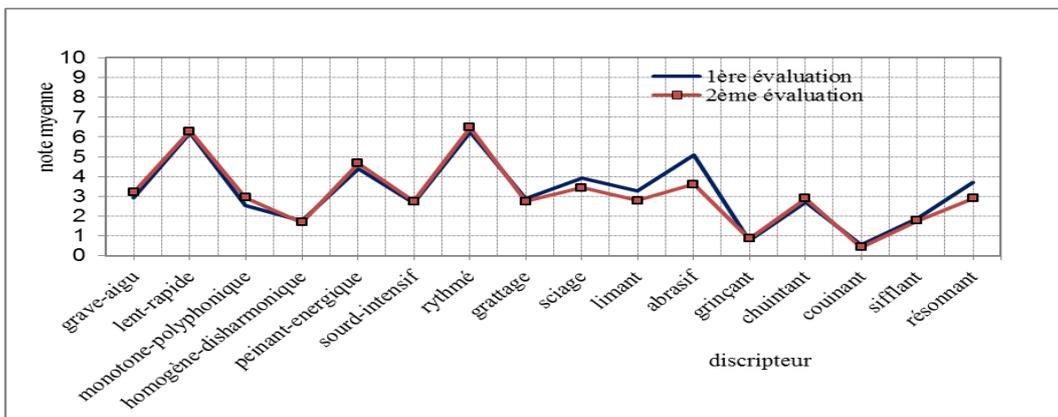


Figure 82 : Répétabilité du panel pour l'étoffe en coton écru d'armure satin 5- marche

- En ce concerne le descripteur *abrasif* : ce décalage entre les deux évaluations revient à une mauvaise répétabilité individuelle lors de l'évaluation le bruit de frottement de l'étoffe en question. La Figure 83 nous montre la note donnée, pour ce descripteur, de la part de tous les panélistes et comment cette note varie en fonction de la répétition. Nous pouvons observer que les panélistes : P1, P3, P7, P11 présentent une mauvaise répétabilité pour ce descripteur, surtout les panélistes P1, P3. Un entraînement supplémentaire est nécessaire pour ces panélistes.

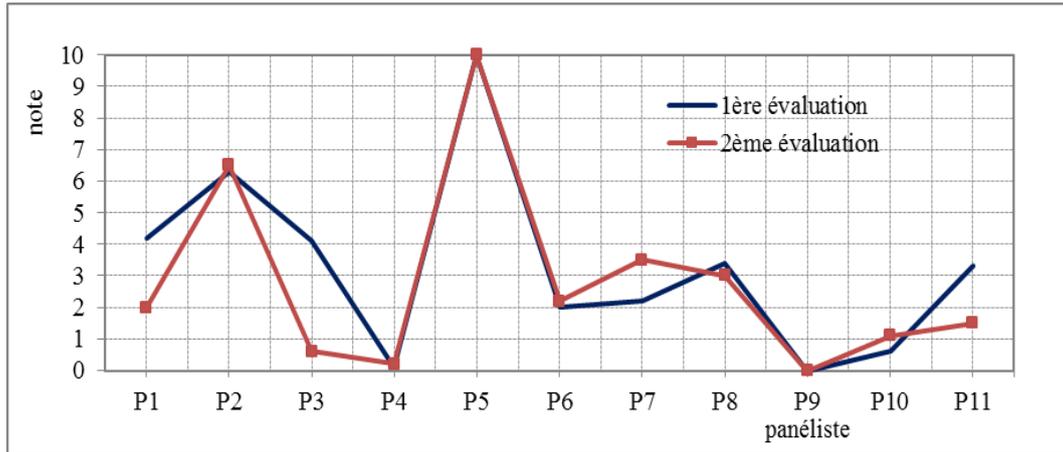


Figure 83 : Répétabilité des panélistes pour le descripteur *abrasif*- marche

- Pour le descripteur *limant* nous pouvons observer dans la Figure 84 qu'il existe sept panélistes (P3, P4, P7, P8, P9, P10, P11) parmi le groupe des panélistes qui donnent des réponses non répétables pour les deux évaluations successives du bruit de frottement de l'étoffe en question. Ceci nous laisse penser que les panélistes ne comprennent pas ce descripteur de la même façon. Suite à la discussion avec les panélistes, il semble que ce descripteur crée une confusion avec le descripteur *sciage* et les panélistes préfèrent éliminer le descripteur *limant* de la liste des descripteurs. Par conséquent, le descripteur *limant* ne sera plus inclus dans le questionnaire d'évaluation auditive du bruit de frottement des étoffes textile. La liste des descripteurs comprend désormais 15 descripteurs.

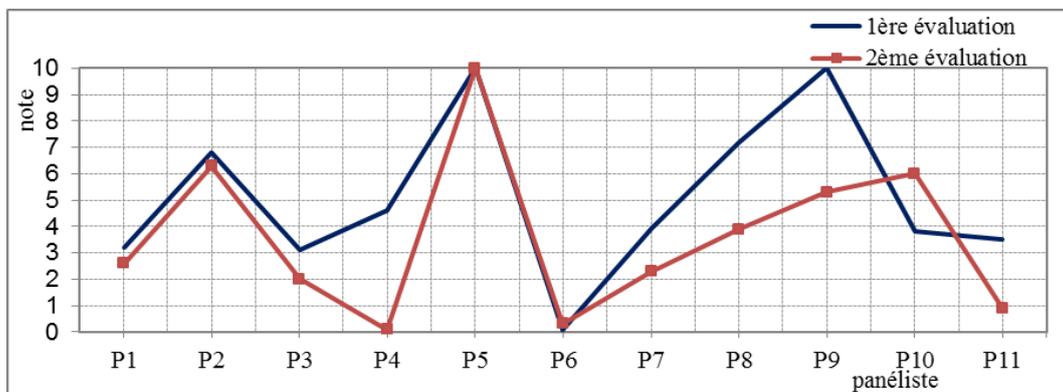


Figure 84 : Répétabilité des panélistes pour le descripteur *limant*- marche

21.2.1.2 Le pouvoir de discrimination des panélistes

Pour juger le pouvoir discriminant des panélistes, l'ANOVA à un facteur (produit) a été appliquée pour toutes les données sensorielles attribuées par un panéliste, pendant cinq séances d'entraînement, pour chaque descripteur. Le Tableau 61 présente la valeur de P-value obtenue par l'ANOVA pour chaque panéliste en fonction du descripteur. P-value représente l'indice de discrimination des panélistes. Si P-value < 0,05 le panéliste a la capacité de différencier les bruits des étoffes pour un tel descripteur. Si non, le panéliste n'arrive pas à trouver une différence entre les bruits de frottement des étoffes pour ce descripteur. Le panéliste peut être aussi discriminant à 10% (P-value < 0,1) [228].

Tableau 61 : Indice de discrimination des panélistes– marche

descripteur \ panel	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
grave-aigu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lent-rapide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
monotone-polyphonique	0,19	0	0,83	0	0,8	0	0	0	0	0,01	0
homogène-disharmonique	0	0	0,84	0	0,99	0,09	0	0	0	0,07	0
peinant-énergique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sourd-intensif	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rythmé	0	0	0,63	0,61	0,92	0	0	0	0	0	0,99
grattage	0,34	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0,2
sciage	0,03	0	0	0,09	0,87	0	0	0	0	0	0
abrasif	0	0	0	0	0,58	0,08	0	0	0	0	0
grinçant	0,35	0	0,61	0,47	0,92	0,01	0	0,02	0,26	0	0
chuintant	0,52	0	0,83	0,03	0,9	0	0,02	0	0	0,03	0
couinant	0,64	0,51	0,6	0,06	0,93	0	0,08	0	0	0,19	0
sifflant	0	0	0,06	0	0,81	0	0	0	0	0	0
résonnant	0,15	0	0	0,03	0,74	0,01	0	0	0,42	0	0,01
indice de discrimination moyenne	0,14	0,03	0,29	0,08	0,61	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,07
nombre des descripteurs discriminants	9	14	9	13	4	15	15	15	13	14	13

Les valeurs en gris indiquent que le panéliste n'est pas discriminant pour un tel descripteur.

Nous pouvons observer que les panélistes P6, P7 et P8 ont le meilleur pouvoir de discrimination ; ils peuvent différencier les bruits de frottement des étoffes pour tous les descripteurs. Les panélistes P2 et P10 peuvent discriminer les bruits de frottement des étoffes en utilisant 14 descripteurs, c'est-à-dire tous les descripteurs sauf le descripteur *couinant*. Les panélistes P4, P9 et P11 ont le même pouvoir discriminant. Les panélistes P4 et P9 n'arrivent pas à différencier les bruits de frottement des étoffes pour le descripteur *grinçant*. Le panéliste P5 a un mauvais pouvoir discriminant avec un indice de discrimination moyen plus important, soit 0,61. P5 n'utilise que 4 descripteurs pour discriminer les bruits de frottement des étoffes. La réponse de ce panéliste ne sera pas prise en compte pour caractériser le bruit de frottement des étoffes.

Après avoir analysé le pouvoir discriminant de chaque panéliste individuellement nous allons analyser le pouvoir discriminant de l'ensemble du panel.

- Le pouvoir discriminant de l'ensemble du panel est étudiée en appliquant l'ANOVA à un facteur (effet : produit). Pour cela, nous avons calculé l'indice de discrimination pour l'ensemble du panel pour chaque répétition, soit pour chacune des deux séances successives. Le Tableau 62 présente l'indice de discrimination (P-value) pour l'ensemble du panel en fonction des descripteurs pour les 4 répétitions.

Tableau 62 : Indice de discrimination pour l'ensemble du panel pour 4 répétitions –marche

répétition descripteur	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}
grave-aigu	0	0	0	0
lent-rapide	0	0	0	0
monotone-polyphonique	0	0	0	0
homogène-disharmonique	0	0	0	0
peinant-énergique	0	0	0	0
sourd-intensif	0	0	0	0
rythmé	0	0	0	0
grattage	0	0	0	0
sciage	0	0	0	0
abrasif	0	0	0	0
grinçant	0,1	0,1	0	0
chuintant	0,36	0,28	0,01	0
couinant	0	0	0	0
sifflant	0	0	0	0
résonnant	0	0	0	0

A partir du Tableau 62, nous trouvons que le pouvoir discriminant pour l'ensemble du panel est très élevé après cinq séances d'entraînement (à la 4^{ème} répétition), alors que la première et la deuxième répétition, l'ensemble du panel rencontre des difficultés à discriminer les bruits de frottement des étoffes pour le descripteur *chuintant*.

21.2.1.3 Homogénéité des réponses des panélistes

L'homogénéité des réponses des panélistes au cours de leur entraînement a été jugée en utilisant ANOVA à deux facteurs, produit et sujet, et à leur interaction.

- Si P-value d'interaction est inférieure à 5% ou 10% : le test est significatif et les panélistes n'évaluent pas les produits de la même manière. Les panélistes ne sont pas en accord pour la compréhension des descripteurs et par la suite leur réponse n'est pas homogène.
- Si P-value interaction est supérieure à 5% ou à 10% : le test n'est pas significatif et les panélistes sont en accord pour l'évaluation du bruit de frottement des étoffes pour les descripteurs en question.

Le Tableau 63 suivant présente l'indice d'homogénéité (P-value) pour les quatre répétitions.

Tableau 63 : Indice de l'homogénéité pour l'ensemble du panel pour 4 répétitions

répétition descripteur	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}
grave-aigu	0,0005	0,0015	0,0005	0,005
lent-rapide	0,3425	0,2122	0,3427	0,3321
monotone-polyphonique	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
homogène-disharmonique	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
peinant-énergique	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
sourd-intensif	0,075	0,0005	0,0005	0,0117
rythmé	0,0005	0,9962	0,0005	0,0005
grattage	0,0025	0,0009	0,0996	0,0005
sciage	0,0109	0,0052	0,0005	0,0005
abrasif	0,0005	0,0005	0,0005	0,0566
grinçant	0,0005	0,0054	0,0973	0,0005
chuintant	0,0004	0,0121	0,0005	0,0005
couinant	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
sifflant	0,0004	0,0005	0,0005	0,0016
résonnant	0,0031	0,0005	0,0005	0,0765

Les valeurs en gris indiquent les descripteurs pour lesquels les panélistes sont en accord.

A partir du Tableau 63, nous pouvons observer que les panélistes n'évaluent pas encore les bruits de frottement des étoffes de la même manière, leur réponse est très hétérogène. Ceci signifie qu'ils ne comprennent pas les descripteurs de la même façon et cela n'est pas satisfaisant. La réponse est homogène, seulement, pour le descripteur *lent-rapide* pendant toutes les séances d'entraînement. Cela peut être à cause de la facilité à discriminer un bruit plus rapide ou lent que l'autre.

- Une réunion avec les panélistes a été organisée pour discuter les raisons pour lesquelles nous avons obtenu un tel résultat. Le test ACP a été fait sur la réponse moyenne des panélistes pendant cinq séances d'entraînement. Nous avons trouvé que les panélistes sont divisés en deux groupes comme cela est présenté dans la Figure 85.

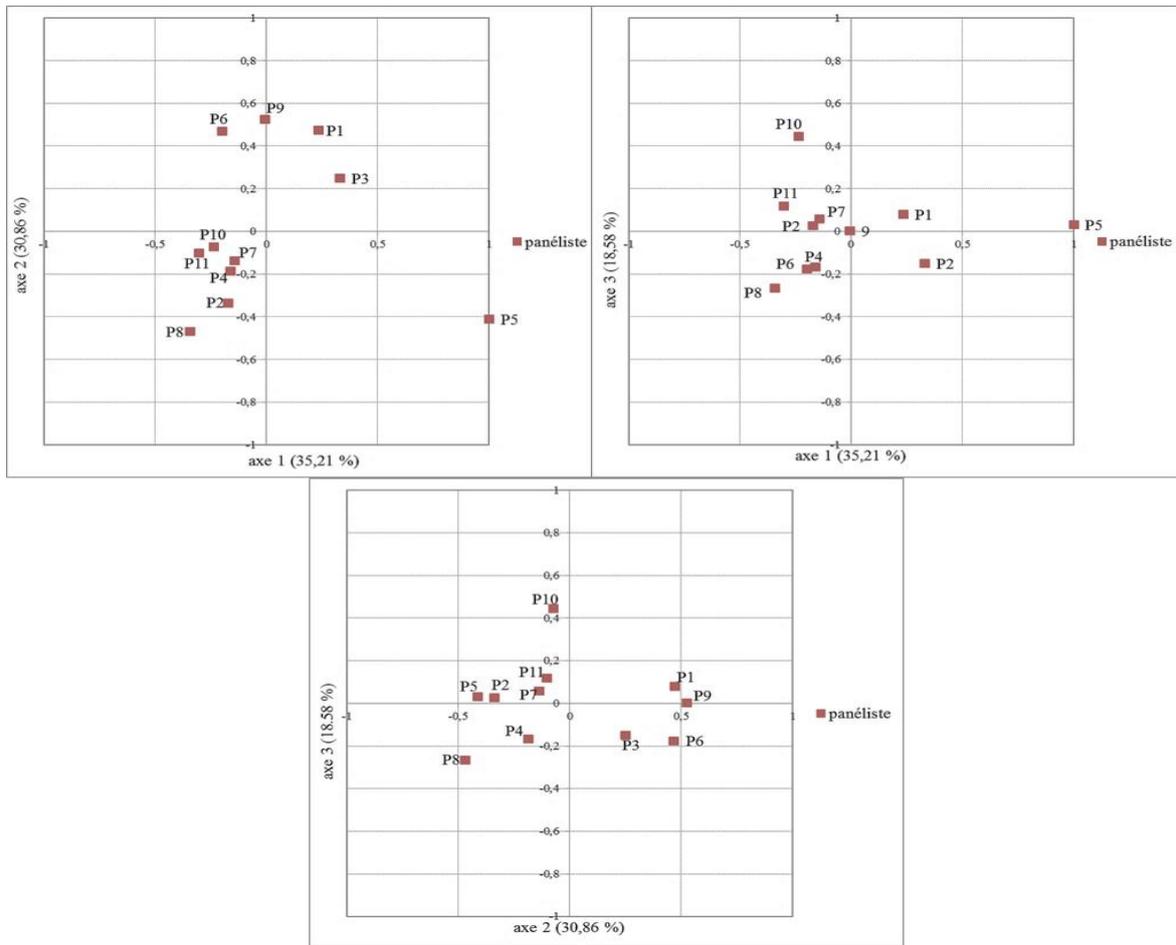


Figure 85 : ACP pour l'ensemble des réponses sensorielles des panélistes -marche

D'après la Figure 85, les panélistes P1, P3, P6 et P9 forment un seul groupe en fonction de leur manière d'évaluer le bruit, tandis que les panélistes P2, P7, P11, P4, P8 et P10 forment un autre groupe. Le panéliste P5 est très loin des autres panélistes sur la carte de représentation, ce qui signifie que ce panéliste n'est pas en accord avec les autres panélistes.

- Pour résoudre ce problème d'hétérogénéité des réponses auditives, nous avons pensé à présenter des références aux panélistes au moment de l'évaluation le bruit des étoffes. Les références, qui ont été déjà citées dans le Tableau 51 (§ 20.2.2), ne sont pas très efficaces pour aider les panélistes à différencier les bruits et surtout ils n'y en a pas pour tous les descripteurs inclus dans la liste. Puisqu'il est difficile de trouver des sons purs qui peuvent être considérées comme des références pour les descripteurs de la liste descriptive, nous avons essayé de les trouver à partir des bruits de frottement des étoffes qui sont disponibles dans ce travail. Le profil sensoriel pour le bruit de frottement de chaque étoffe a été tracé. Ces profils sensoriels établis à la phase d'entraînement sont cités dans *l'annexe 13*. Le bruit pour lequel a été attribuée une note maximum pour un descripteur donné est considéré comme une référence positive pour ce descripteur. Par exemple, la note maximum du descripteur *abrasif* a été donnée pour l'étoffe en coton commercial d'armure satin 5, donc le

bruit de frottement de cette étoffe est considéré comme une référence positive pour le descripteur *abrasif*. En revanche, le bruit qui a été décrit avec la moindre note pour ce descripteur est considéré comme une référence négative. Cette référence négative, pour le descripteur *abrasif*, est représentée par le bruit de frottement de l'étoffe en coton écru d'armure satin 5. Si l'on prend un descripteur bipolaire *monotone-polyphonique*, par exemple, la référence positive est le bruit de frottement de l'étoffe en polyamide d'armure toile et la référence négative est le bruit de frottement de l'étoffe en coton écru d'armure satin 5. Cela signifie que le bruit de frottement de l'étoffe en polyamide d'armure toile est décrit, dans les séances d'entraînement, comme le bruit le plus polyphonique (avec la note la plus importante sur l'échelle d'intensité) et le bruit de frottement de l'étoffe en coton écru d'armure satin 5 est décrit comme le bruit le plus monotone (avec la note la plus faible sur l'échelle d'intensité). Cette démarche a été confirmée par les panélistes après leur avoir fait réécouter les bruits de frottement des étoffes et obtenir leur accord pour ces propositions. Les références positives et négatives sont présentées dans le Tableau 64.

Tableau 64 : Références des descripteurs

référence descripteur	référence positive	référence négative
grave –aigu	polyamide en toile (commercial)	coton en satin 5 (écru)
lent-rapide	polyamide en toile (commercial)	non tissé coton en satin 5 (commercial)
monotone-polyphonique	polyamide en toile (commercial) polyester en satin 3 (commercial) lin en toile (écru)	coton en satin 5 (écru)
homogène- disharmonique	polyamide en toile (commercial) lin en toile (écru)	coton en satin 5 (écru) coton en chevron (écru)
peinant-énergique	polyamide en toile (commercial) polyester en satin 3 (commercial)	polyamide en satin 3 (commercial) coton en satin 5 (commercial) non tissé
sourd-intensif	polyamide en toile (commercial) polyester en satin 3 (commercial)	polyamide en satin 3 (commercial) coton en satin 5 (écru)
rythmé	polyamide en toile (commercial) coton en chevron (écru)	polyamide en satin 3 (commercial) non tissé
grattage	polyamide /polyuréthane en toile (commercial)	soie en toile (commercial) coton en chevron (écru)
sciage	coton en satin 5 (commercial) coton en toile (commercial)	coton en satin 5 (écru)
abrasif	coton en satin 5 (commercial) polyester en satin 3 (commercial)	coton en satin 5 (écru) lin en toile (écru)
grinçant	coton en satin 5 (commercial)	coton en chevron (écru) coton en toile (écru)
chuintant	lin en toile écru polyamide/polyuréthane en toile (commercial)	coton en toile (écru) polyester en toile (commercial)
couinant	soie en toile (commercial)	coton en satin 5 écru polyamide/polyuréthane en toile (commercial)
sifflant	polyamide en toile commercial	lin en toile (écru)
résonnant	lin en toile (écru)	coton en satin 5 (écru)

Une observation à prendre en compte dans la phase d'entraînement que les panélistes trouvent que le bruit de frottement de l'étoffe en coton commercial d'armure satin 5 est inconfortable et gênant pour des raisons exposées dans le chapitre précédent.

Nous avons recalculé l'indice de l'homogénéité (P-value) après avoir effectué le test auditif en fournissant les références établies dans le Tableau 64. L'indice de l'homogénéité obtenu est présenté dans le Tableau 65.

Tableau 65 : Indice de l'homogénéité des panélistes –marche

descripteur \ P-value	indice de l'homogénéité
grave-aigu	0,2442
lent-rapide	0,3425
monotone-polyphonique	0,2352
homogène-disharmonique	0,2911
peinant-énergique	0,1923
sourd-intensif	0,2341
rythmé	0,1525
grattage	0,1451
sciage	0,3459
abrasif	0,3123
grinçant	0,0005
chuintant	0,0074
couinant	0,0195
sifflant	0,0124
résonnant	0,2731

A partir du Tableau 65, nous pouvons observer que la P-value d'interaction produit×sujet est significative pour quelques descripteurs. Nous en déduisons que les panélistes ne sont pas d'accord pour les descripteurs suivants : *grinçant, chuintant, couinant, sifflant*.

21.3 CARACTERISATION DU BRUIT DE FROTTEMENT DES ARMURES EN COTON ECRU A LA VITESSE DE MARCHE

Après avoir construit et validé la liste descriptive de 15 descripteurs et après avoir qualifié les panélistes à évaluer le bruit de frottement des étoffes, nous avons caractérisé les bruits des 7 armures en coton écreu. Les armures et les caractéristiques de ces étoffes ont été déjà présentées dans le chapitre précédent dans le cadre du traitement du signal sonore des étoffes textiles (Tableau 5, Tableau 26).

Pour effectuer cette évaluation sensorielle, un nouveau questionnaire a été réalisé à l'aide de logiciel Tastel. Le questionnaire d'évaluation auditive des bruits de frottement des étoffes est présenté dans *l'annexe 12*. Les armures ont été codées aléatoirement pour être identifiées plus facilement par le gestionnaire du panel. Leur niveau sonore est présenté dans le Tableau 66. L'évaluation auditive du bruit de frottement des armures a été faite à deux reprises.

Tableau 66 : Niveau sonore du bruit de frottement des armures à caractériser sensoriellement- marche

armure	code	niveau sonore (dBA)
chevron	L1	53
crêpe	L2	52,5
satin 4	L3	50,20
satin 5	L4	52
sergé 3	L5	56
sergé 4	L6	53,5
toile	L7	54,80

Les réponses sensorielles des panélistes ont été traitées par une analyse de variance pour juger le degré d'accord des panélistes et leur capacité à différencier entre les bruits de frottement des armures en question pour chaque descripteur. L'analyse de variance des réponses sensorielles est présentée dans le Tableau 67 avec $F_{\text{critique}} = 2,24$ pour l'effet de produit (armure) et $F_{\text{critique}}=1,53$ pour l'effet d'interaction produit \times sujet. Cette démarche a été effectuée pour choisir les descripteurs discriminants et qui sont en accords pour le groupe du panel pour les bruits enregistrés pour 7 armures en coton écru et non pour les 14 bruits écoutés dans la phase d'entraînement.

Tableau 67 : Résultats d'analyse de variance des données sensorielles des armures en coton écru

descripteur	$F_{\text{produit}}(2,24)$	$F_{\text{interactions (produit}\times\text{sujet)}(1,53)$
grave-aigu	6,83*	1,12
lent-rapide	65,7*	0,88
monotone-polyphonique	5,66*	1,32
homogène-disharmonique	6,53*	1,43
peinant-énergique	37,8*	0,99
sourd-intensif	15,7*	1,23
rythmé	25,3*	1,49
grattage	3,82*	1,09
sciage	18,9*	0,77
abrasif	4,84*	0,81
grinçant	4,26*	2,45*
chuintant	3,75*	2,11*
couinant	2,97*	1,99*
sifflant	1,28	1,88*
résonnant	2,46*	1,40

*significatif à 5%

Nous pouvons observer que les panélistes ne sont pas d'accord pour les descripteurs suivants : *grinçant*, *chuintant*, *couinant*, *sifflant* car $F_{\text{critique}} < F_{\text{calc}}$ (interaction produit \times sujet) ce qui a été observé pendant l'étape d'entraînement. Nous avons cherché les panélistes qui ne sont pas en accord avec le groupe des panélistes pour ces descripteurs. Pour cela, nous avons effectué une ACP sur les notes moyennes (en considérant que les panélistes sont les variables et les produits 'armures' sont les observations dans la matrice observation/variables).

- Pour le descripteur *grinçant*, le panéliste qui est en désaccord avec le groupe des panélistes est : P9. Un entraînement supplémentaire est nécessaire pour ce panéliste en leur rappelant les références positives et négatives pour ce descripteur.

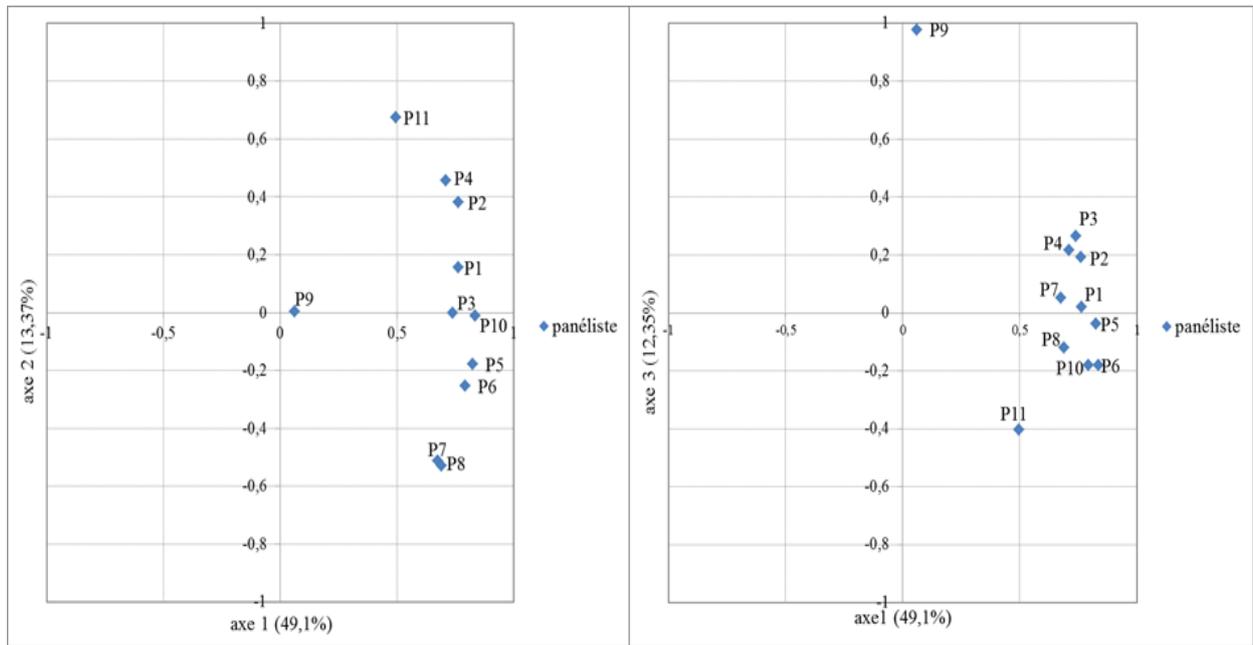


Figure 86 : ACP du descripteur *grinçant- marche*

- Pour le descripteur *chuintant*, le panéliste P10 ne sont pas en accord avec les autres panélistes pour la compréhension du descripteur.

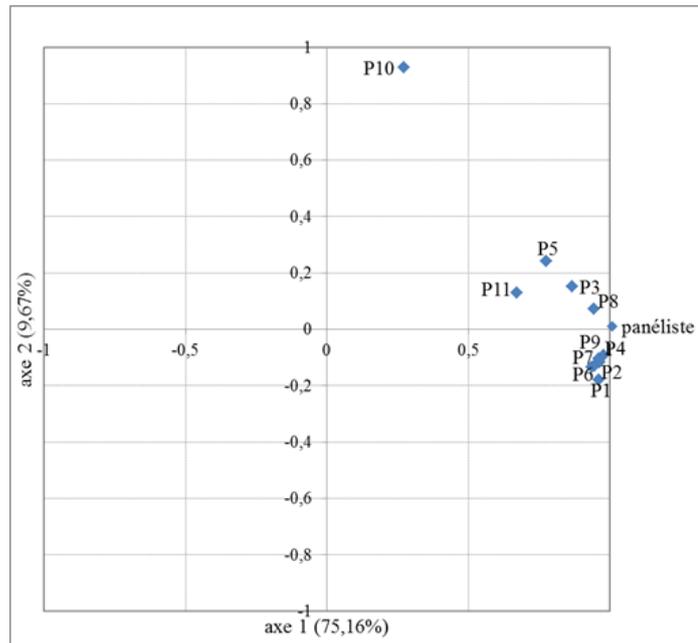


Figure 87 : ACP du descripteur *chuintant- marche*

- Pour le descripteur *couinant*, nous trouvons que le panéliste P5 n'est pas en accord avec le groupe des panélistes et il n'a pas compris le descripteur de la même façon que les autres panélistes.

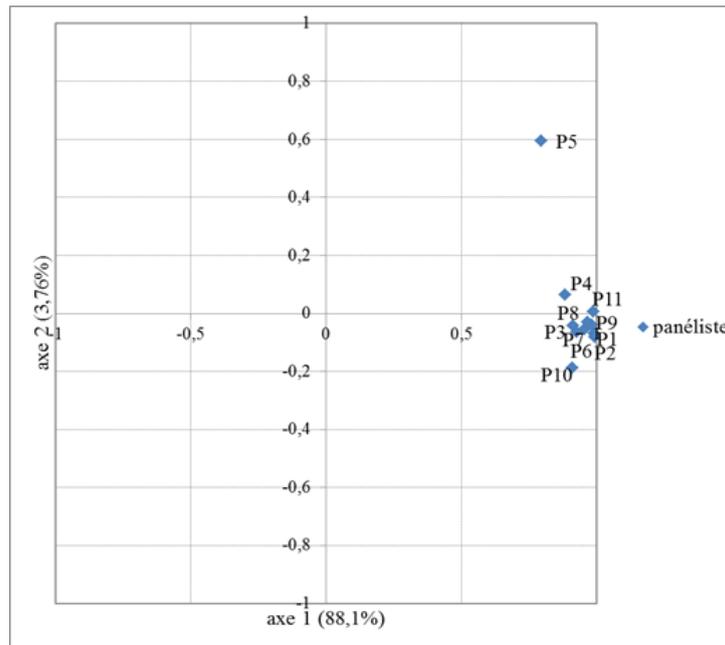


Figure 88 : ACP du descripteur *couinant- marche*

- Pour le descripteur *sifflant*, le panéliste P5 est loin des autres panélistes sur la carte des panélistes. Il est en désaccord pour ce descripteur, il a besoin encore d’entraînement.

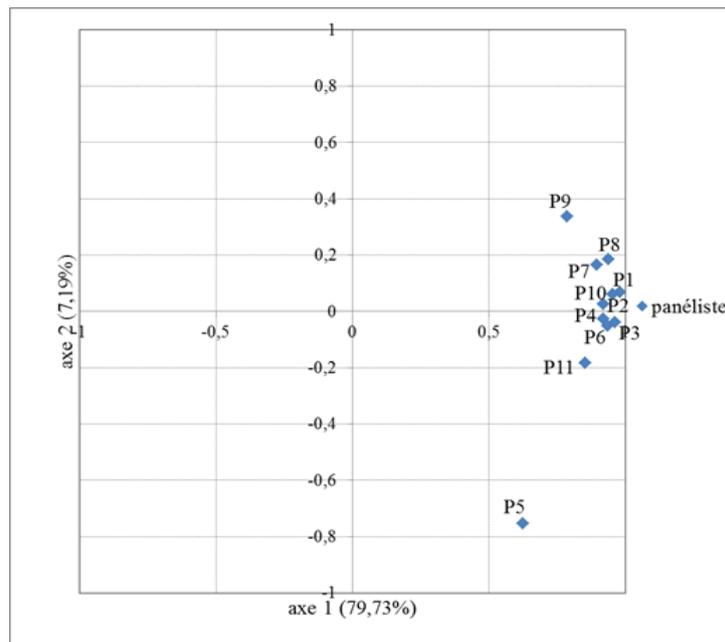


Figure 89 : ACP du descripteur *sifflant- marche*

- Si l’on compare les panélistes d’audition normale et les panélistes qui souffrent d’une perte auditive (P4 et P8), nous pouvons observer que ces derniers évaluent le bruit des étoffes de la même manière que les autres panélistes. La preuve est le classement de ces deux panélistes sur la carte des panélistes par rapport au descripteur choisi (voir la Figure 87, la Figure 88 et la Figure 89). Les deux panélistes sont proches des autres panélistes sur la carte des panélistes. Pour le descripteur *grave-aigu*, les panélistes P4 et P8 sont très proches l’un

de l'autre et même s'ils sont un peu loin des autres panélistes, ils restent en accord avec le groupe des panélistes. Cela peut être expliqué par leur capacité sensorielle auditive. Puisqu'ils subissent une perte auditive surtout pour les hautes fréquences (les sons les plus aigus), en particulier le panéliste P4. Cela peut expliquer que leur réponse sensorielle est un peu différente des autres panélistes en terme de hauteur du son (*grave-aigu*).

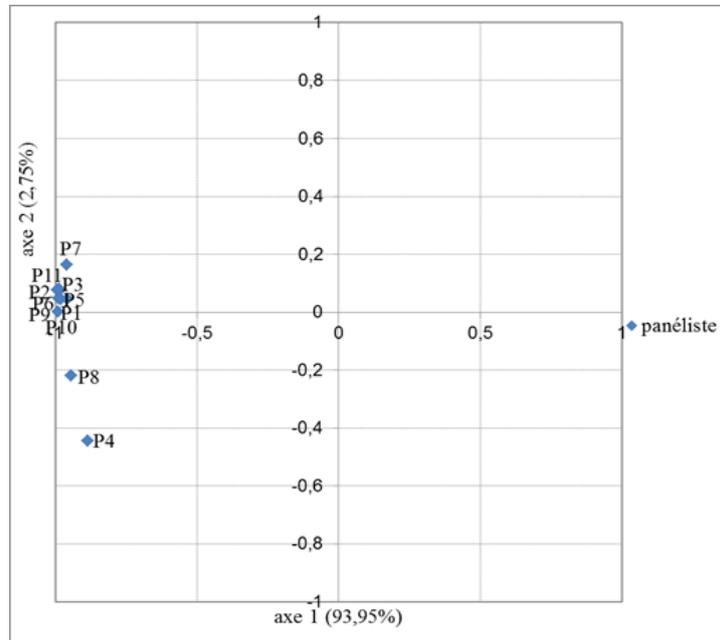


Figure 90 : ACP du descripteur *grave-aigu- marche*

Pour tous les autres descripteurs les panélistes sont en accord avec un F_{calc} (interaction produit×sujet) qui n'est pas significatif.

Après avoir examiné l'interaction (produit×sujet), nous avons vérifié si les panélistes perçoivent une différence entre les bruits de frottement des armures en comparant F_{calc} produit avec F_{critique} dans le Tableau 67. Nous en déduisons que tous les descripteurs sauf le descripteur *sifflant* ont un F produit significatif. Cela signifie que les panélistes relèvent une différence entre les bruits de frottement des armures pour tous les descripteurs sauf le descripteur *sifflant*.

A partir des résultats obtenus par l'analyse de variance, il est possible de valider les descripteurs qui vont être pris en compte, pour tracer le profil sensoriel des bruits de frottement des armures en coton écru. Ce sont les descripteurs qui ont le F interaction non significatif et le F produit significatif. Les descripteurs discriminants pris en compte sont : *grave-aigu*, *lent-rapide*, *monotone-polyphonique*, *homogène-disharmonique*, *sourd-intensif*, *peinant-énergique*, *rythmé*, *grattage*, *sciage*, *abrasif* et *résonnant*.

Le profil sensoriel établi par les panélistes pour caractériser le bruit de frottement de ces armures est présenté dans la Figure 91. Ce profil présente la note moyenne attribuée à chaque descripteur pour les deux reprises d'évaluation auditive.

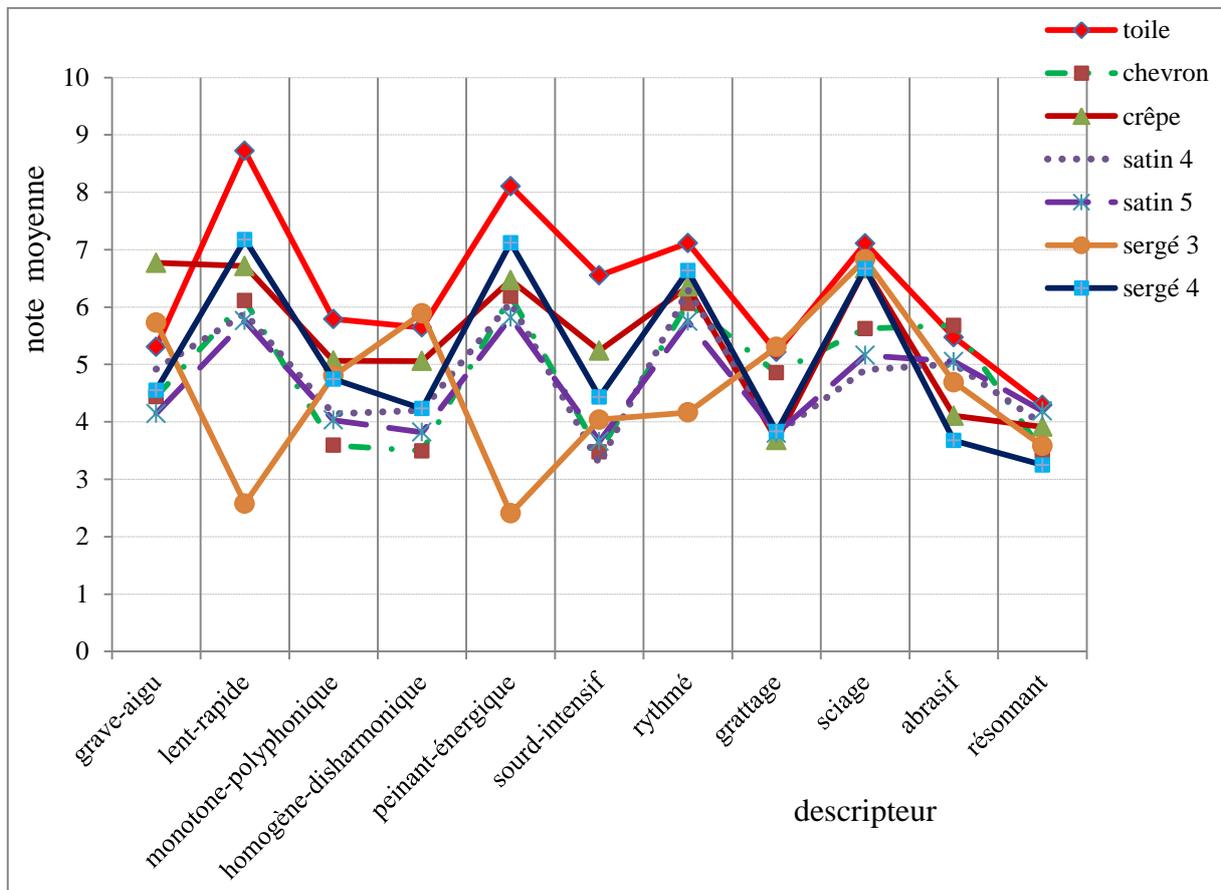


Figure 91 : Profil sensoriel du bruit de frottement des armures en coton écru- marche

Pour comparer la perception auditive de chaque paire des armures, nous avons effectué le test T Student ($t_{\text{critique}} = 2,02$, à 5%). Ce test, présenté dans le Tableau 68, nous montre les descripteurs pour lesquels les bruits sont significativement différents. D'après ce tableau, les descripteurs les plus discriminants sont les descripteurs qui décrivent l'intensité du bruit et sa hauteur : *sourd-intensif*, *peinant-énergique*, *grave-aigu* et les descripteurs qui décrivent la tonalité, l'homogénéité et la rapidité du bruit : *monotone-polyphonique*, *homogène-disharmonique*, *lent-rapide*.

Tableau 68 : Test T Student pour comparer les profils sensoriels des armures-marche

armure	chevron	crêpe	satin 4	satin 5	sergé 3	sergé 4	toile
crêpe	grave-aigu homogène- disharmonique sourd-intensif						
satin 4	NS	grave-aigu sourd-intensif sciage					
satin 5	NS	grave-aigu lent-rapide sourd-intensif	NS				
sergé 3	lent-rapide homogène- disharmonique peinant- énergique rythmé	lent-rapide peinant- énergique sourd-intensif rythmé	lent-rapide homogène- disharmonique peinant- énergique rythmé	grave-aigu lent-rapide homogène- disharmonique peinant- énergique grinçant			
sergé 4	lent-rapide peinant- énergique abrasif	grave-aigu	lent-rapide peinant- énergique sciage	lent-rapide peinant- énergique	lent-rapide homogène- disharmonique peinant- énergique rythmé		
toile	lent-rapide monotone- polyphonique homogène- disharmonique peinant- énergique sourd-intensif	grave-aigu lent-rapide peinant- énergique	lent-rapide peinant- énergique sourd-intensif sciage	lent-rapide homogène- disharmonique peinant- énergique sourd-intensif sciage	lent-rapide peinant- énergique sourd-intensif rythmé	lent-rapide sourd-intensif	

- A partir du Tableau 68, nous constatons que les profils sensoriels des armures satin 4 et satin 5 sont très similaires et il n'y a pas de différence significative concernant la perception auditive de ces deux armures. Leurs bruits de frottement ont été décrits comme étant les plus *sourd*. Le test T Student (avec $t_{\text{critique}}=2,02$ à 5%) a été effectué pour comparer les notes moyennes attribuées aux descripteurs pour les deux armures. D'après ce test, présenté dans le Tableau 69, nous trouvons que $t_{\text{critique}} > t_{\text{calc}}$ et le test n'est pas significatif.

Tableau 69 : Test T Student de comparaison les profils sensoriels du satin 4 (L3) et du satin 5 (L4)

descripteur \ valeur	note moyenne (L3)	écart type (L3)	note moyenne (L4)	écart type (L4)	t_{cal}
grave-aigu	4,92	2,53	4,14	1,87	1,10
lent-rapide	5,88	1,77	5,76	1,4	0,247
monotone-polyphonique	4,14	3	4,03	3,07	0,114
homogène-disharmonique	4,19	2,53	3,82	2,55	0,472
peinant-énergique	6,07	1,39	5,82	1,72	0,525
sourd-intensif	3,26	2,44	3,66	2,35	0,520
rythmé	6,3	2,54	5,75	2,61	0,674
grattage	3,79	3,3	3,8	3,4	0,0047
sciage	4,91	2,87	5,16	2,98	0,270
abrasif	5	3,19	5,05	3,1	0,0401
résonnant	3,96	3,25	4,19	3,2	0,225

- Si l'on compare les profils sensoriels des armures chevron et satin 5 nous constatons que les profils sensoriels sont très similaires avec une différence d'amplitude non significative en fonction des descripteurs (selon le test T Student présenté dans le Tableau 70). Les bruits de frottement de ces deux armures ont été décrits comme les bruits les plus *homogènes* et les plus *monotones*. Les notes moyennes attribuées, pour le descripteur *grave-aigu*, pour l'armure chevron et l'armure satin 5 sont de 4,4 et de 4,1 respectivement. Ces notes sont proches de la note neutre (5) et les bruits de ces deux armures peuvent être décrits ni graves ni aigus.

Tableau 70 : Test T Student de comparaison les profils sensoriels du chevron(L1) et du satin 5(L4)

descripteur \ valeur	note moyenne (L1)	écart type (L1)	note moyenne (L4)	écart type (L4)	t _{cal}
grave-aigu	4,44	2,02	4,14	1,87	0,477
lent-rapide	6,11	1,5	5,76	1,4	0,773
monotone-polyphonique	3,59	2,74	4,03	3,07	0,477
homogène-disharmonique	3,49	2,03	3,82	2,55	0,445
peinant-énergique	6,18	1,09	5,82	1,72	0,799
sourd-intensif	3,47	2,16	3,66	2,35	0,258
rythmé	6,06	2,81	5,75	2,61	0,367
grattage	4,85	3,11	3,8	3,4	1
sciage	5,62	2,56	5,16	2,98	0,529
abrasif	5,68	2,86	5,05	3,1	0,667
résonnant	3,49	3,16	4,19	3,2	0,695

- L'armure toile présente un profil sensoriel similaire aux profils des armures satin 5 et chevron mais avec une amplitude plus importante en fonction des descripteurs comme cela est présenté dans la Figure 92. Cette différence d'amplitude est significative, comme cela a été déjà présenté dans le Tableau 68, pour les descripteurs suivant : *lent-rapide*, *monotone-polyphonique*, *homogène-disharmonique*, *sourd-intensif* et *peinant-énergique*. Le bruit de l'armure toile a été décrit comme le bruit le plus *rapide*, le plus *polyphonique*, le plus *disharmonique*, le plus *intensif* et le plus *énergique*. Ceci est en accord avec la conclusion obtenue en termes d'analyse physique du bruit de frottement des armures en coton écru. Ces trois armures présentent des spectres sonores similaires mais avec une amplitude de pression acoustique plus importante au profit de l'armure toile. Les armures chevron et satin 5 présentent une plage d'amplitude et une différence fréquentielle les plus importantes.

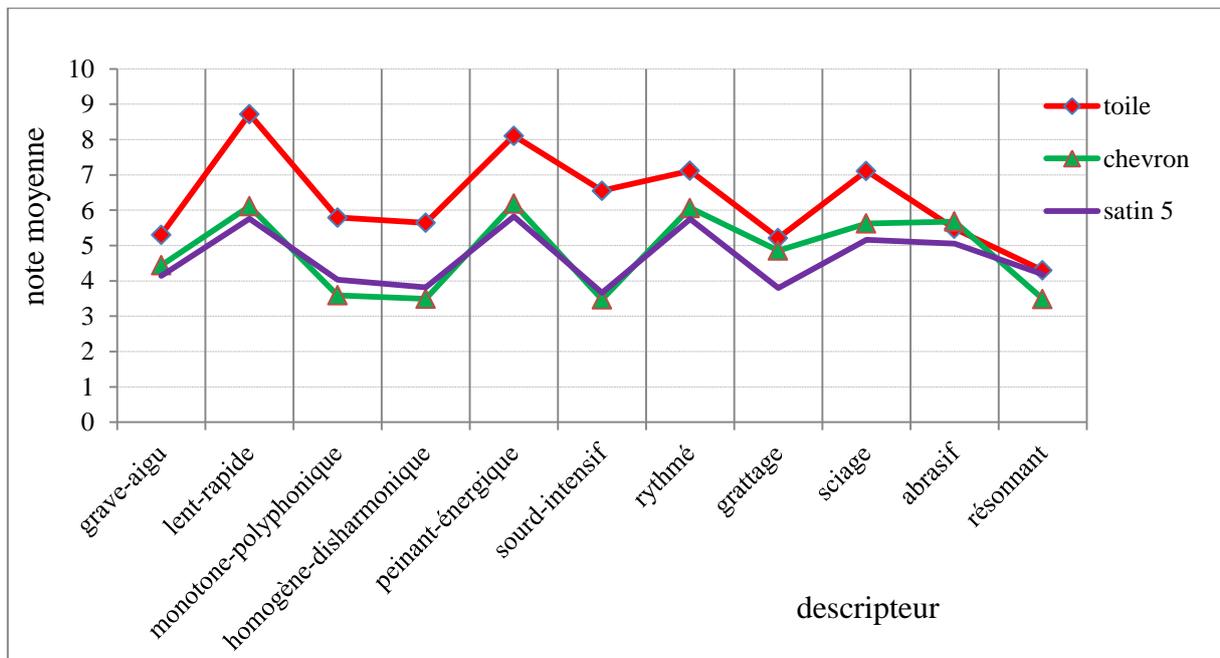


Figure 92 : Profil sensoriel des armures : satin 5, chevron, toile

Les armures toile et sergé 3 ont été au contraire décrits, avec une différence significative pour les descripteurs suivants : *lent-rapide*, *peinant-énergique*, *sourd-intensif* et *rythmé*. Mais ils sont très similaires pour le descripteur *homogène-disharmonique* surtout que les bruits de ces deux armures ont des valeurs similaires de plage d'amplitude ΔL (22 et 23) dBA.

- Le bruit de frottement de l'armure sergé 3 est significativement différent des bruits de frottement des autres armures pour les descripteurs suivants : *lent-rapide*, *peinant-énergique*, *homogène-disharmonique* et *rythmé*. Le bruit de l'armure sergé 3 a été décrit comme le bruit le plus *lent*, le plus *peinant*, le plus *disharmonique* et le moins *rythmé*. Les armures sergé 3 et sergé 4 ont un profil sensoriel différent l'un de l'autre surtout pour les descripteurs suivants : *lent-rapide*, *homogène-disharmonique*, *peinant-énergique*, *rythmé*. Le test T Student, présenté dans le Tableau 71, nous montre que cette différence est significative et que le bruit de l'armure sergé 4 est décrit comme un bruit plus *homogène*, plus *énergique*, plus *rapide* et plus *rythmé* que le bruit de l'armure sergé 3.

Tableau 71 : Test T Student pour une comparaison sensorielle entre sergé 3(L5) et sergé 4(L6)

valeur descripteur	note moyenne (L5)	écart type (L5)	note moyenne (L6)	écart type (L6)	t _{cal}
grave-aigu	5,73	2,68	4,55	1,85	1,62
lent-rapide	2,57	1,06	7,17	1,65	10,5
monotone-polyphonique	4,8	2,99	4,74	3,01	0,0632
homogène-disharmonique	5,89	2,03	4,23	2,47	2,31
peinant-énergique	2,4	1,55	7,12	1,45	9,90
sourd-intensif	4,04	1,9	4,43	2,63	0,544
rythmé	4,16	3,06	6,63	2,93	2,61
grattage	5,3	2,76	3,82	2,97	1,63
sciage	6,83	3,13	6,67	2,45	0,180
abrasif	4,69	3,08	3,67	3,1	1,04
résonnant	3,58	3,07	3,25	2,96	0,346

Les cellules en gris indiquent les descripteurs pour lesquels les bruits des armures sont significativement différents à (5%).

- A partir du Tableau 68, nous concluons qu'il y a une différence significative entre le bruit de frottement de l'armure crêpe et le bruit de frottement de toutes les autres armures, sauf l'armure sergé 3, en terme *grave-aigu*. Le bruit de frottement de l'armure crêpe a été décrit comme le plus *aigu*. Cela peut être due à cause de la fréquence du maximum du bruit de frottement de cette armure, cette fréquence apporte un maximum d'amplitude du spectre sonore dans la zone de fréquence moyenne pour laquelle les oreilles sont très sensibles (1,78 kHz).
- Le test de Duncan, présenté dans le Tableau 72, nous permet de comparer les moyennes par descripteur (multiples notes moyennes attribuées aux armures pour chaque descripteur). Les armures ayant des moyennes identiques à 5% ont été classées avec les mêmes lettres pour chaque descripteur. Les armures chevron et satin 5 sont affectées des lettres similaires pour les descripteurs : *sciage*, *sourd-intensif*, *grave-aigu*, *rythmé*, *homogène-disharmonique*, et *monotone-polyphonique*. Le satin 4 et le satin 5 sont affectés des lettres similaires ou identiques pour les descripteurs suivants : *lent-rapide*, *monotone-polyphonique*, *homogène-disharmonique*, *peinant-énergique*, *abrasif* et *sciage*. Les armures sergé 3 et sergé 4 ont des lettres identiques pour les descripteurs suivants : *monotone-polyphonique*, *sourd-intensif* et *sciage*. Les descripteurs pour lesquels les armures sont classées dans le même groupe de lettres sont considérés comme des descripteurs non discriminants au seuil 5%. Selon le test de Duncan, on peut observer qu'il n'y a pas de différence significative entre la note moyenne pour les descripteurs suivants : *chuintant*, *couinant*, *sifflant*, *résonnant* et *grattage*. Le test de Duncan nous a permis de solidifier les résultats obtenus avec le test T Student et confirmer les descripteurs pour lesquels la différence entre les armures est significative avec deux niveaux de signification différentes. Un qui présente la valeur moyenne de

descripteur pour un pair des armures (test T Student) et l'autre correspond à la valeur moyenne du descripteur pour l'ensemble des armures (test de Duncan).

Tableau 72 : Test de Duncan pour comparer les profils sensoriels des armures- marche

	chevron	crêpe	satin 4	satin 5	sergé 3	sergé 4	toile
grave-aigu	fe	a	fedc	f	edcba	fed	fedcb
lent-rapide	edc	edcb	ed	e	f	b	a
monotone-polyphonique	d	cba	dcb	dc	dcb	dcb	a
homogène-disharmonique	e	edcba	edc	ed	a	edcb	cba
peinant-énergique	edc	edcb	ed	e	f	dcb	a
sourd-intensif	fe	cb	f	fed	fedc	fedcb	a
rythmé	dc	dcba	dcb	d	e	cba	a
grattage	a	a	a	a	a	a	a
sciage	cb	a	c	cb	a	a	a
abrasif	a	cb	cba	cba	cba	c	ba
résonnant	a	a	a	a	a	a	a

- Le dernier test réalisé avant de tracer la carte des produits (armures) est la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA). Le résultat de ce test est présenté dans la Figure 93.

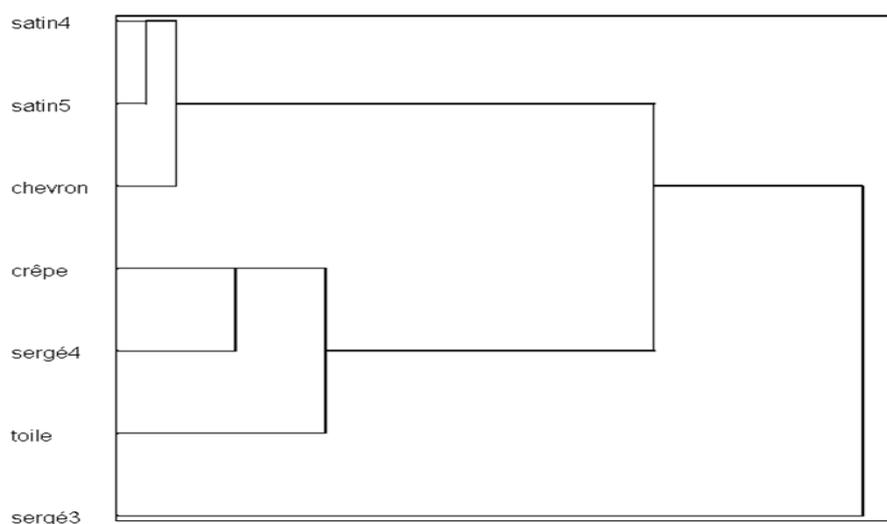


Figure 93 : Test CHA pour l'évaluation sensorielle des armures - marche

D'après la Figure 93, nous trouvons que l'armure satin 4 et l'armure satin 5 sont classées dans le même groupe, le chevron les rejoint dans le même groupe. L'armure crêpe et l'armure sergé 4 sont dans le même groupe ; l'armure toile leur rejoint dans le même groupe. L'armure sergé 3 forme son propre groupe.

Pour visualiser la répartition des produits sous forme de groupes sur un plan, nous avons tracé la carte des produits en réalisant le test Analyse en Composant Principales (ACP). Cette carte est présentée dans la Figure 94.

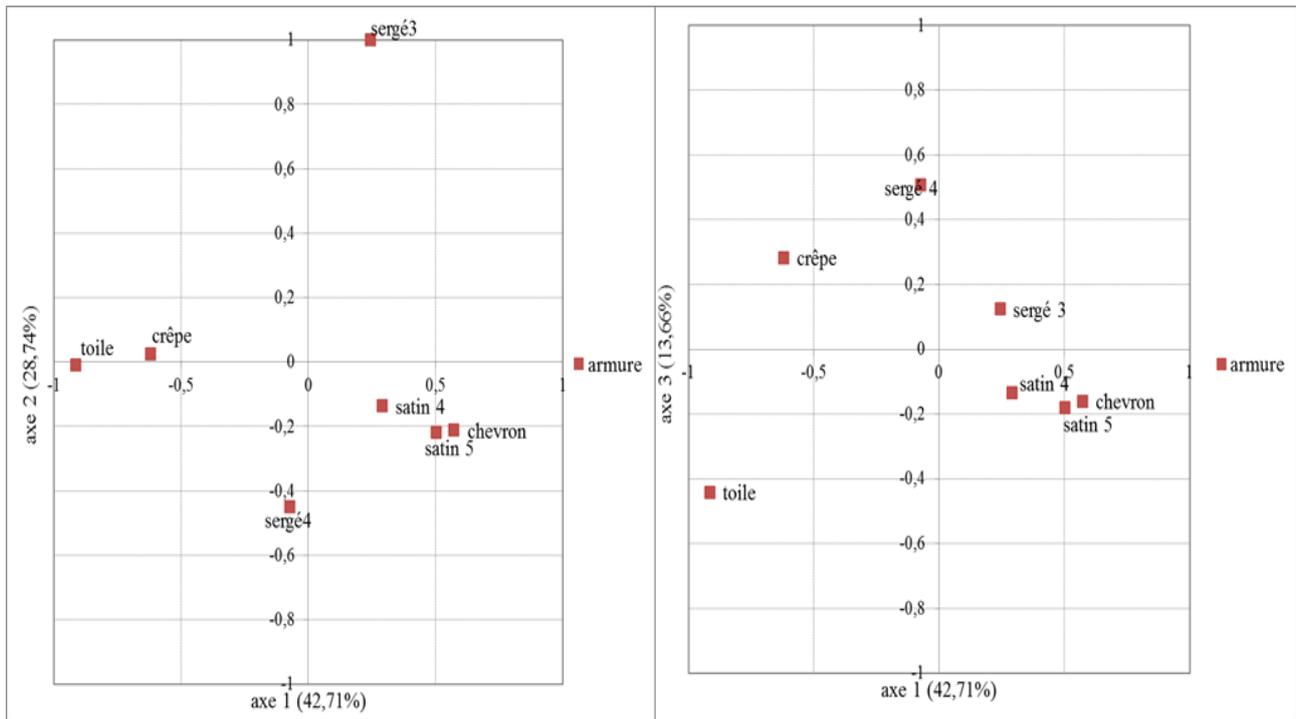


Figure 94 : Carte de représentation des armures- marche

Nous pouvons observer que les armures chevrons et satin 5 sont placées très proches l'une de l'autre sur la carte de représentation et que le satin 4 est très proche de ces deux armures, ce qui confirme les résultats obtenus par les tests précédents. Les armures toile et sergé 3 sont placées en opposé dans l'espace (axe1, axe 3), alors que le sergé 3 et le sergé 4 sont opposés dans l'espace (axe 1, axe 2). L'armure crêpe est proche de l'armure toile dans l'espace (axe 1, axe 2).

- Après ces démarches, nous avons essayé de vérifier si les termes étaient liés les uns aux autres par les panélistes. Par exemple, est-ce qu'un bruit décrit comme *aigu* est impérativement un bruit *sifflant* ?

D'après la Figure 95, nous constatons sur le cercle de corrélation des descripteurs qu'un bruit décrit comme *monotone* est un bruit *homogène* et un bruit décrit *polyphonique* est un bruit *disharmonique*. Le bruit décrit comme *aigu* est un bruit plutôt *sifflant* et *sciage*. Le bruit décrit *peinant-énergique* est un bruit *lent-rapide*. Le bruit *grattant* est un bruit *abrasif*. Le test CHA, dans la Figure 96, présente les groupes dans lesquels les descripteurs ont été classés. D'après la Figure 96, nous trouvons que les descripteurs *grattage*, *abrasif* sont classés dans le même groupe. Les descripteurs *lent-rapide* et *peinant-énergique* sont classés dans le même groupe. Les descripteurs *monotone-polyphonique* et *homogène-disharmonique* sont classés dans le même groupe. Les descripteurs *grinçant*, *couinant* sont aussi classés dans le même groupe.

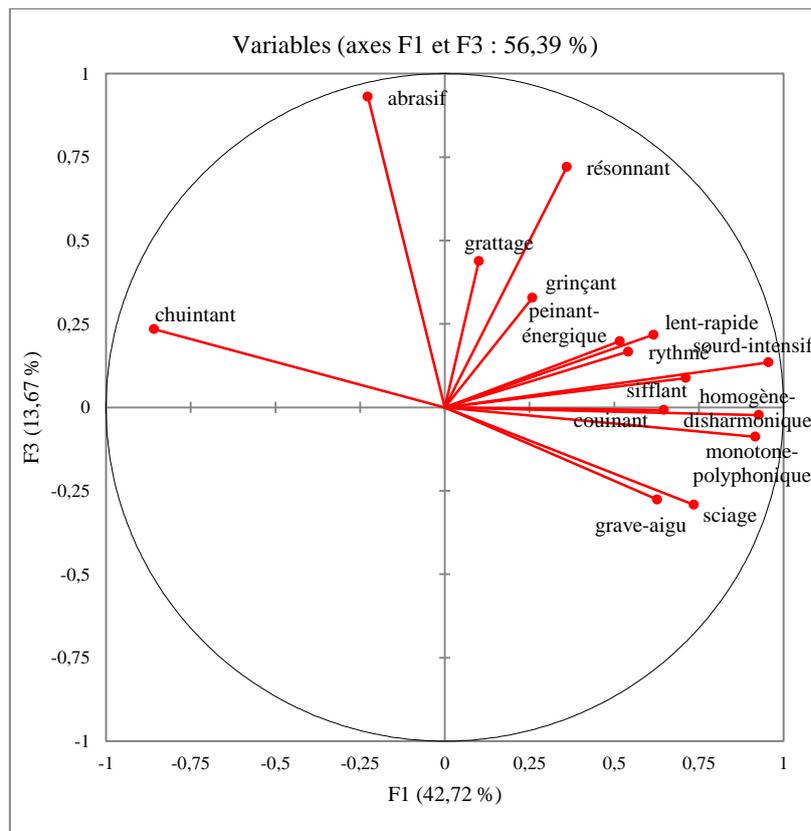
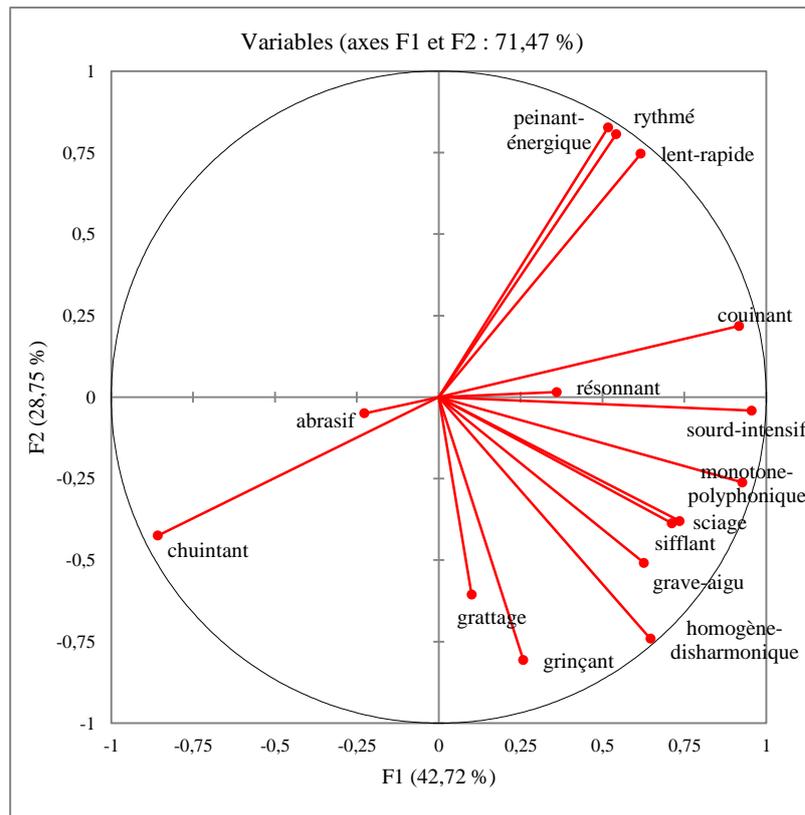


Figure 95 : Test ACP des descripteurs dans la phase de caractérisation du bruit de frottement -marche

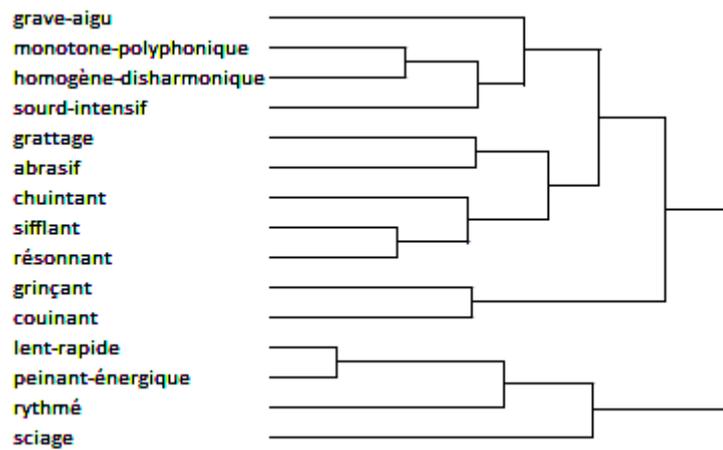


Figure 96 : Test CHA des descripteurs dans la phase de caractérisation du bruit de frottement-marche

21.4 RESULTATS CONCERNANT LE BRUIT GENERE POUR LA VITESSE DE COURSE

Les résultats concernant le bruit de frottement des étoffes, généré pour la vitesse de course, peut être divisé en deux parties : la première concerne le contrôle des performances des panélistes dans la phase d'entraînement et la deuxième concerne la caractérisation du bruit en traçant les profils sensoriels des armures en coton écru.

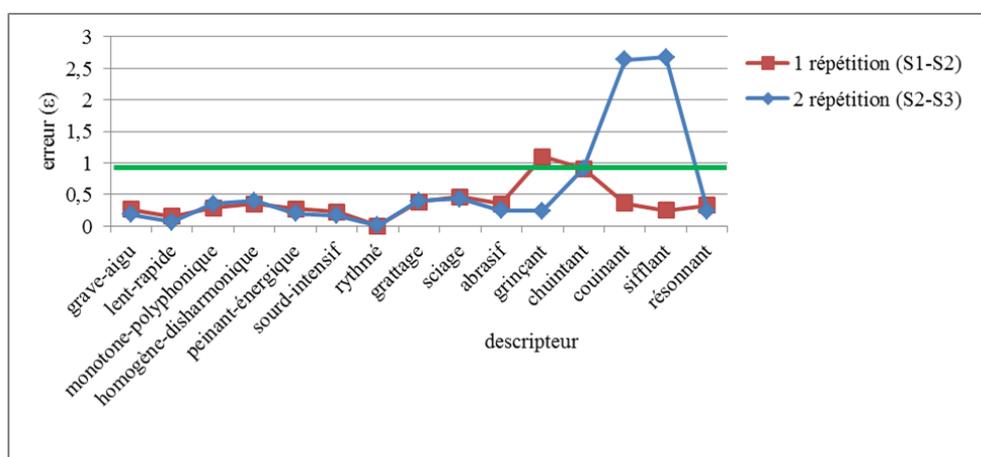
21.4.1 Contrôle les performances des panélistes

Après la phase d'entraînement des panélistes, pour le bruit généré à la vitesse de marche, les panélistes sont normalement considérés comme des panélistes qualifiées. C'est pour cela que la phase d'entraînement, pour la vitesse de course, n'a pas duré longtemps et que les panélistes ont montré de bonnes performances après trois séances d'entraînement seulement. Comme dans le cas précédent (marche), les performances seront évaluées en termes de répétabilité, pouvoir de discrimination et homogénéité pour les bruits de frottement de 14 étoffes déjà utilisées.

- **La répétabilité** : tous les panélistes sont répétables puisque l'erreur faite en terme de réponse sensorielle après trois séances (deux répétitions) ne dépasse pas 1. La répétabilité individuelle en fonction du descripteur est présentée dans Tableau 73 (toutes les valeurs qui sont en gris indiquent que le panéliste n'est pas répétable pour un tel(s) descripteur (s)). D'après le Tableau 73, nous pouvons observer que tous les panélistes sont répétables pour tous les descripteurs sauf le panéliste P3 qui n'est pas répétable pour les descripteurs *couinant et sifflant* où l'erreur faite est supérieure à 1 ($\varepsilon > 1$). La réponse auditive du panéliste P3 est présentée dans la Figure 97. Les réponses sensorielles des autres panélistes ont été présentées dans l'annexe 11.

Tableau 73 : Indice de la répétabilité des panélistes - course

panel \ descripteur	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
grave-aigu	0,11	0,15	0,25	0,38	0,1	0,2	0,12	0,49	0,4	0,11	0,09
lent-rapide	0,07	0,12	0,12	0,09	0,11	0,14	0,13	0,11	0,14	0,09	0,05
monotone-polyphonique	0,12	0,18	0,29	0,84	0,01	0,25	0,14	0,37	0,37	0,18	0,18
homogène-dysharmonique	0,12	0,16	0,38	0,49	0,17	0,26	0,16	0,75	0,47	0,12	0,24
peinant-énergique	0,09	0,1	0,24	0,66	0,16	0,14	0,12	0,21	0,16	0,11	0,08
sourd-intensif	0,07	0,16	0,2	0,36	0,18	0,2	0,17	0,27	0,22	0,26	0,18
rythmé	0,08	0,2	0	0,01	0,03	0,13	0,12	0,2	0,19	0,13	0,57
grattage	0,33	0,11	0,38	0,55	0,03	0,57	0,16	0,3	0,55	0,28	0,45
sciage	0,19	0,13	0,49	0,23	0,02	0,51	0,09	0,26	0,14	0,41	0,33
abrasif	0,32	0,1	0,32	0,55	0,01	0,71	0,13	0,42	0,62	0,46	0,49
grinçant	0,46	0,25	1	0,15	0,36	0,5	0,39	0,54	0,68	0,56	0,58
chuintant	0,32	0,15	0,13	0,98	0,33	0,55	0,3	0,38	0,73	0,35	0,28
couinant	0,76	0,11	2,69	0,64	0,37	0,72	0,4	0,56	0,42	0,37	0,45
sifflant	0,13	0,15	2,71	0,29	0,04	0,6	0,28	0,55	0,88	0,41	0,93
résonnant	0,11	0,44	0,28	0,48	0,02	0,45	0,19	0,14	0,64	0,49	0,4

**Figure 97 : Répétabilité du panéliste P3- course**

- **Le pouvoir de discrimination** : l'indice de discrimination est présenté dans le Tableau 74. Les valeurs en gris indiquent les descripteurs pour lesquels les panélistes ne peuvent pas trouver de différence entre les bruits de frottement des armures (P-value n'est pas significative à 5% et à 10%).

Tableau 74 : Indice discriminant par panéliste et par descripteur - course

descripteur \ panel	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
grave-aigu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lent-rapide	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0	0	0
monotone-polyphonique	0,24	0	0,86	0	0,22	0	0	0	0	0,14	0
homogène-dysharmonique	0,07	0	0,49	0	0,42	0	0	0	0	0,04	0
peinant-énergique	0	0	0	0,09	0,52	0	0	0	0,09	0	0
sourd-intensif	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0
rythmé	0,02	0	0,44	0,01	0,41	0,01	0,02	0	0	0	0
grattage	0	0	0	0	0,44	0,34	0	0	0	0,31	0
sciage	0,02	0	0,44	0	0,81	0,03	0	0	0	0,04	0
abrasif	0	0	0	0	0,81	0,01	0	0	0	0	0
grinçant	0,61	0	0,55	0,3	0,95	0	0,01	0,07	0	0	0,07
chuintant	0	0,15	0,08	0,15	0,82	0,17	0,57	0	0	0,04	0
couinant	0,08	0	0,44	0	0,97	0,01	0	0	0	0	0
sifflant	0	0	0,43	0,07	0,03	0,01	0,03	0	0	0	0,53
résonnant	0	0,31	0	0	0,14	0,01	0	0	0,01	0,01	0
nombre des descripteurs discriminants	13	13	8	13	3	13	14	15	15	13	14

Les valeurs en gris indiquent que le panéliste n'est pas discriminant (à P-value =5% et 10%) pour le descripteur donné.

Nous pouvons observer que les panélistes P8 et P9 ont le meilleur pouvoir de discrimination; ils utilisent tous les descripteurs pour différencier les bruits de frottement des étoffes, tandis que le panéliste P5 a le plus mauvais pouvoir de discrimination car il n'arrive pas à différencier les bruits des étoffes que pour trois descripteurs *grave-aigu*, *lent-rapide* et *sifflant* et par la suite sa réponse ne sera pas prise en compte pour tracer le profil sensoriel.

Le pouvoir discriminant pour l'ensemble du panel est très satisfaisant pour les deux répétitions, l'ensemble du panel discrimine tous les bruits de frottement des étoffes. L'indice de discrimination (P-value pour un facteur 'produit') pour l'ensemble du panel est présenté dans le Tableau 75.

Tableau 75 : Indice de discrimination pour l'ensemble du panel - course

descripteur \ répétition	1 ^{ère}	2 ^{ème}
grave-aigu	0	0
lent-rapide	0	0
monotone-polyphonique	0	0
homogène-disharmonique	0	0
peinant-énergique	0	0
sourd-intensif	0	0
rythmé	0	0
grattage	0	0
sciage	0	0
abrasif	0	0
grinçant	0	0
chuintant	0	0
couinant	0	0
sifflant	0	0
résonnant	0	0

- **Homogénéité** : L'indice d'homogénéité des réponses auditives des panélistes est présenté dans le Tableau 76. D'après ce tableau, nous trouvons que la réponse du groupe des

panélistes n'est pas homogène pour les descripteurs *grinçant* et *chuintant* : les panélistes ne sont pas en accord pour l'évaluation de ces deux descripteurs.

Tableau 76 : Indice de l'homogénéité de groupe du panel - course

descripteur \ P-value	indice de l'homogénéité
grave-aigu	0,1223
lent-rapide	0,2431
monotone-polyphonique	0,1981
homogène-dysharmonique	0,1143
peinant-énergique	0,1022
sourd-intensif	0,2231
rythmé	0,1621
grattage	0,1523
sciage	0,1876
abrasif	0,2143
grinçant	0,0045
chuintant	0,0054
couinant	0,1795
sifflant	0,2724
résonnant	0,1354

Les valeurs en gris indiquent que P- value (d'interaction produit×sujet) est significative à 5%.

21.4.2 Caractérisation du bruit de frottement des armures en coton écru pour la vitesse de course

Le niveau sonore des bruits de frottement des armures en coton écru à analyser, pour la vitesse de course, est présenté dans le Tableau 77.

Tableau 77 : Niveau sonore du bruit de frottement des armures à analyser sensoriellement- course

armure	niveau sonore (dBA)
chevron	54
crêpe	53,5
satin 4	51,2
satin 5	53
sergé 3	59
sergé 4	52
toile	55

La caractérisation du bruit de frottement des armures s'est faite pendant deux reprises d'évaluation auditive. La même méthode que celle suivie dans le cadre de l'évaluation du bruit pour la vitesse de marche a été suivie. Nous avons effectué une analyse de variance ANOVA à un facteur (produit) et à deux facteurs (produit, sujet) sur les données sensorielles. A partir du Tableau 78, nous trouvons que les panélistes ne sont pas en accord pour les descripteurs *grinçant* et *chuintant* car la valeur de F interaction (produit×sujet) est significative ($F_{\text{calc}} > F_{\text{critique}}$). F produit est significatif pour tous les descripteurs sauf pour le descripteur *chuintant* et les panélistes ne différencient pas les bruits écoutés en utilisant ce descripteur.

Tableau 78 : Analyse de variance des données sensorielles - course

descripteurs	F _{produit} (2,23)	F _{interactions (produit×sujet)} (1,50)
grave-aigu	16,1*	1,09
lent-rapide	17,71*	0,99
monotone-polyphonique	6,61*	1,13
homogène-disharmonique	23,31*	1,54
peinant-énergique	10,2*	1,88
sourd-intensif	34,01*	1,23
rythmé	7,78*	1,01
grattage	8,65*	1,36
sciage	11,8*	0,93
abrasif	3,84*	0,86
grinçant	2,27*	2,87*
chuintant	0,96	2,55*
couinant	4,53*	1,25
sifflant	7,28*	1,17
résonnant	9,93*	1,33

Les valeurs entre parenthèse indiquent la valeur critique de F.

*significatif

Nous avons réalisé une analyse en composantes principales ACP, sur les descripteurs pour lesquels F interaction est significatif. Nous avons trouvé qu'il y a désaccord global entre les panélistes pour la perception de ces deux descripteurs. Les panélistes sont distribués sur la carte de représentation (surtout sur dans l'espace axe 2 et axe 3), ce qui confirme que les panélistes n'arrivent pas à percevoir ces deux descripteurs de la même manière. La Figure 98 et la Figure 99 présentent l'analyse ACP pour les deux descripteurs *grinçant* et *chuintant* respectivement.

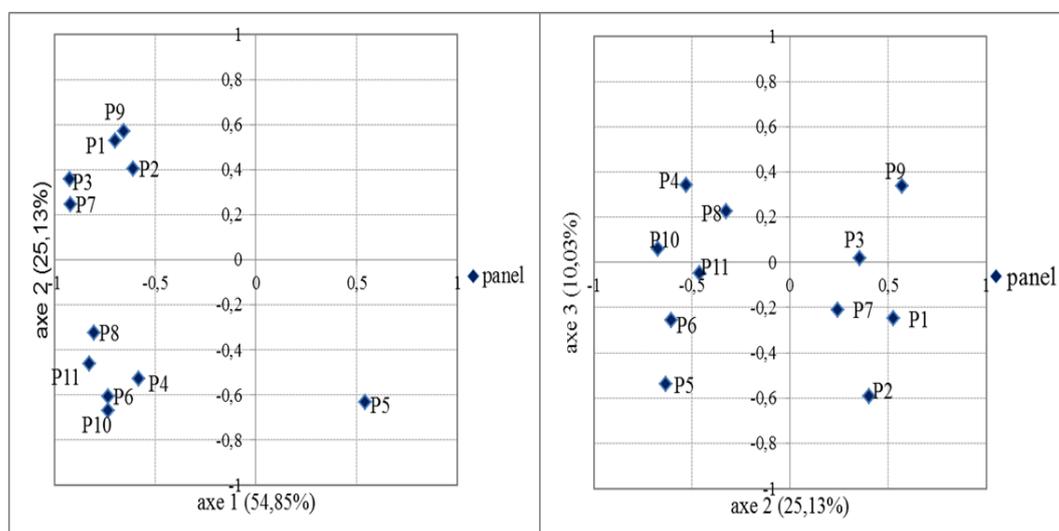


Figure 98 : ACP pour le descripteur *grinçant*- course

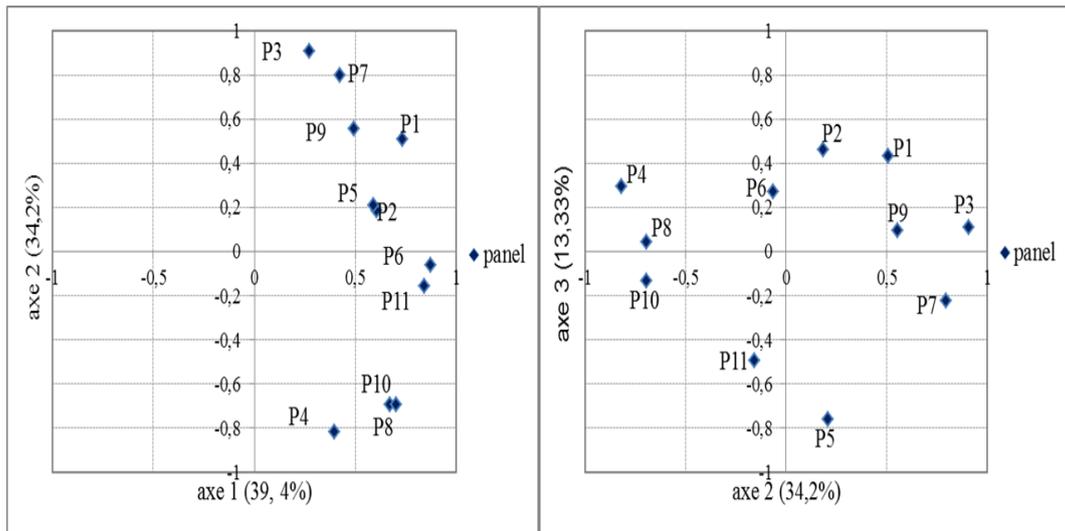


Figure 99 : ACP pour le descripteur *chuintant* - course

Les descripteurs qui ont été pris en compte pour tracer le profil sensoriel des étoffes sont les descripteurs qui ont F interactions non significatives et F produits significatives. C'est-à-dire que tous les descripteurs ont été pris en compte sauf les descripteurs *grinçant* et *chuintant*. Le profil sensoriel, de chaque armure, qui représente les notes moyennes attribuées aux descripteurs par les panélistes est présenté dans la Figure 100.

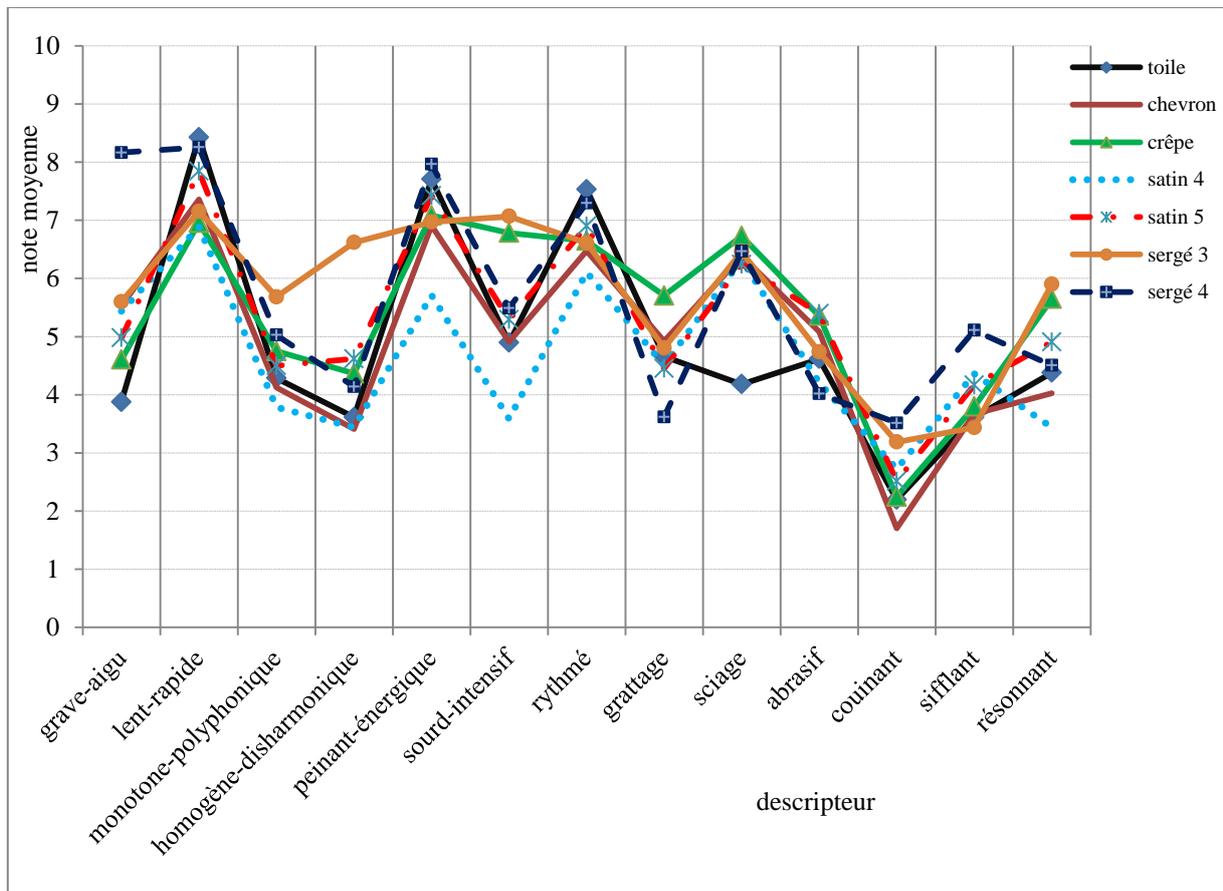


Figure 100 : Profil sensoriel des armures en coton écru - course

- D'après la Figure 100, nous trouvons que les armures toile, chevron et satin 5 ont un profil sensoriel similaire mais avec une amplitude différente. Cette différence d'amplitude n'est pas significative entre les armures satin 5 et chevron comme cela est présenté dans le Tableau 79. Ceci signifie que le bruit de ces deux armures a été perçu de la même façon de la part des panélistes. Le bruit de l'armure satin 5 a été décrit comme ni grave ni aigu, avec une note de 5 sur l'échelle d'intensité. Le bruit de l'armure chevron a été décrit comme légèrement aigu avec une note de 5,5. Le bruit de l'armure toile a été décrit comme le bruit le plus *rapide*, le plus *énergique* et le plus *rythmé*. Le spectre de ce bruit a la différence fréquentielle la plus étroite ($\Delta f = 4,04$ kHz) avec une amplitude du maximum la plus importante, ce qui rend ce bruit plus concentré et par la suite plus *énergique*. Le bruit de l'armure toile est significativement différent (voir le Tableau 79) des bruits des armures satin 5 et chevron pour les descripteurs *lent-rapide*, *sciage*, *grave-aigu*. La note attribuée au descripteur *grave-aigu* pour l'armure toile est de 3,8. Le bruit de l'armure toile a été décrit comme plutôt *grave*.
- Le profil sensoriel du bruit de l'armure sergé 4 est similaire à celui des armures toile, chevron, satin 5 avec une différence significative pour le descripteur *grave-aigu*. Le bruit de l'armure sergé 4 est le bruit le plus *aigu* et le plus *sifflant*. Ceci est peut-être dû à l'amplitude du maximum du spectre sonore (38 dBA) qui se situe dans une gamme de fréquence dans laquelle l'oreille est plus sensible (1,78 kHz). Les bruits de frottement des armures sergé 4 et toile ont été décrits comme les bruits les plus *rapides*, ce qui en est accord avec la caractérisation des bruits générés par le frottement de ces armures à la vitesse de marche.
- Le bruit de l'armure satin 4 a été évalué comme le bruit le plus *monotone*, le plus *homogène*, le plus *sourd*, le plus *peinant* (moins *énergique*) et le moins *résonnant* contrairement au bruit de l'armure sergé 3. Dans le Tableau 79, nous trouvons une différence significative entre le bruit de cette armure et les bruits des autres armures. Cette évaluation du bruit du satin 4 est logique dans la mesure où cette armure présente un bruit avec le niveau sonore et l'amplitude du maximum les moins importants, une plage d'amplitude la plus importante et une fréquence de maximum la moins perceptible comme nous l'avons déjà vu dans le chapitre précédent.
- Le bruit de l'armure sergé 3, qui a le niveau sonore le plus important, a été caractérisé comme le bruit le plus *polyphonique*, le plus *disharmonique* et le plus *intensif* avec une différence significative de bruit par rapport des autres armures comme cela est présenté dans le Tableau 79. Le bruit de l'armure crêpe a été décrit comme un bruit *grattant*, *sciage* et *intensif*. Il est significativement différent des bruits des armures chevron, satin 4, satin 5 et toile pour le descripteur *sourd-intensif*. Les bruits de frottement des armures sergé 3 et

crêpe sont décrits comme des bruits *intensifs* car ces deux armures présentent un bruit avec un maximum du spectre important et ceci a une fréquence dans la zone de la sensibilité maximum de l'oreille humaine (1,82 kHz pour sergé 3 et 1,78 kHz pour crêpe). De plus, ces deux armures ont une différence fréquentielle Δf étroite en comparaison avec les autres armures, ce qui rend le bruit plus concentré et plus agressif.

- Si l'on compare les profils sensoriels des armures satin 4 et satin 5, nous trouvons que la différence significative concernant la perception auditive des bruits de ces deux armures est obtenue pour les descripteurs *sourd-intensif*, *peinant-énergique* et *lent-rapide*. Le bruit du satin 4 est perçu plus *sourd*, plus *peinant* et plus *lent* que le bruit du satin 5. Même si le bruit du satin 4 est décrit plus *monotone* et plus *homogène* que le bruit du satin 5, la différence reste non significative.
- Si l'on compare les profils sensoriels des armures sergé 3 et sergé 4, nous trouvons que le bruit du sergé 3 est décrit comme le bruit le plus *disharmonique* et le plus *intensif* avec une différence significative, alors que le bruit de sergé 4 est plus *rapide* et plus *aigu* avec une différence significative.

Tableau 79 : Test T Student pour comparer les profils sensoriels des armures- course

armure	chevron	crêpe	satin 4	satin 5	sergé 3	sergé 4	toile
crêpe	sourd-intensif						
satin 4	peinant-énergique	peinant-énergique sourd-intensif résonnant					
satin 5	NS	lent-rapide sourd-intensif	peinant-énergique sourd-intensif lent-rapide				
sergé 3	homogène-disharmonique sourd-intensif	homogène-disharmonique	monotone-polyphonique homogène-disharmonique sourd-intensif résonnant	homogène-disharmonique sourd-intensif			
sergé 4	grave-aigu lent-rapide peinant-énergique couinant	grave-aigu lent-rapide grattage	grave-aigu lent-rapide peinant-énergique sourd-intensif	grave-aigu	grave-aigu lent-rapide homogène-disharmonique sourd-intensif		
toile	grave-aigu lent-rapide sciage	lent-rapide sourd-intensif sciage	grave-aigu lent-rapide peinant-énergique sciage	lent-rapide sciage	lent-rapide grave-aigu homogène-disharmonique sourd-intensif sciage	grave-aigu sciage	

Le test de Duncan présenté dans le Tableau 80 montre la comparaison entre les moyennes des notes attribuées à chaque armure en fonction des descripteurs.

Tableau 80 : Test de Duncan - course

	chevron	crêpe	satin 4	satin 5	sergé 3	sergé 4	toile
grave-aigu	edcb	fe	edc	fed	edcb	a	f
lent-rapide	edcb	ed	e	ba	edc	a	a
monotone-polyphonique	ed	edcba	e	edcb	a	dcba	edc
homogène-disharmonique	f	fedcb	fe	cb	a	fedc	fed
peinant-énergique	b	ba	c	ba	ba	a	ba
sourd-intensif	dc	a	e	dc	a	dc	d
rythmé	ed	edcb	e	dcba	edc	cba	a
grattage	edcba	a	ed	fe	edcb	f	edc
sciage	a	a	a	a	a	a	b
abrasif	ba	a	ba	a	ba	b	ba
couinant	c	cba	cba	cba	ba	a	cb
sifflant	fed	fedc	fedcba	fedcb	f	a	fe
résonnant	ed	ba	e	dcba	a	edcb	edc

Les armures qui sont suivies par des lettres similaires présentent un classement similaire concernant le descripteur en question.

D'après le Tableau 80, nous constatons que les armures satin 4 et sergé 3 sont différentes des autres armures en ce qui concerne le descripteur *monotone-polyphonique* et que l'armure sergé 3 est différente des autres armures pour le descripteur *homogène-disharmonique*. Les armures sergé 3 et crêpe sont identiques pour le descripteur *sourd-intensif*. L'armure sergé 4 est différente des autres armures pour les descripteurs *grave-aigu* et *sifflant*, tandis qu'elle est identique avec l'armure toile pour le descripteur *lent-rapide*. Les armures toile et satin 4 sont classées différentes des autres armures pour le descripteur *rythmé* : le bruit de frottement de l'armure toile a été décrit comme le plus *rythmé* alors que pour l'armure satin 4 a été décrit comme le moins *rythmé*.

Le test **CHA** est présenté dans la Figure 101. D'après cette figure, nous constatons que l'armure chevron et l'armure satin 5 sont classées dans le même groupe. L'armure sergé 3 et l'armure sergé 4 sont classées dans le même groupe. Les résultats du test CHA confirment les résultats du test ACP.

**Figure 101 : Test CHA pour l'évaluation sensorielle du bruit - course**

La carte des produits a été réalisée grâce au test ACP sur les produits 'les armures'. La Figure 102 présente le placement des armures dans l'espace de trois axes. Nous trouvons que les armures chevron et satin 5 sont placées proches l'une de l'autre dans l'espace (axe1, axe3). Les armures satin 4 et sergé 3 sont opposées dans l'espace (axe1, axe2). Les armures en sergé 3 et sergé 4 sont proches l'une de l'autre dans l'espace (axe2, axe3).

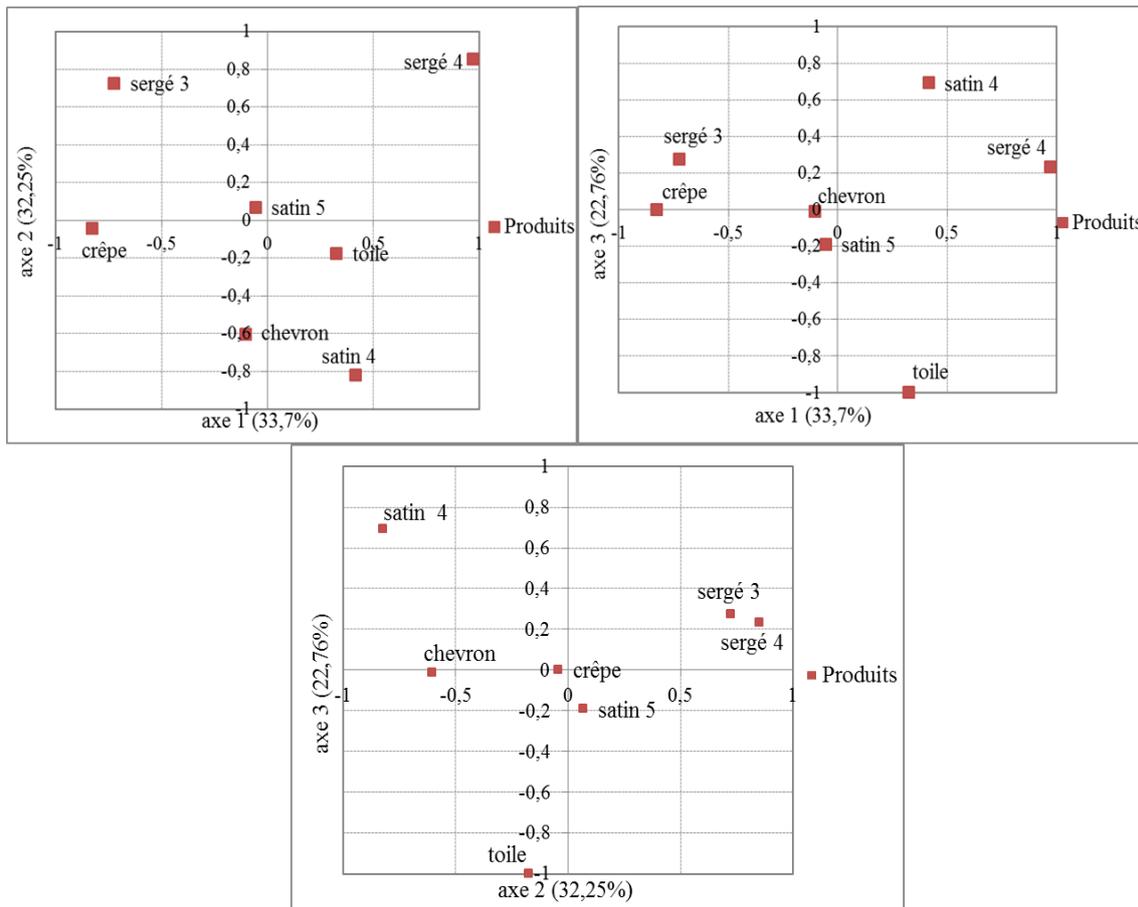


Figure 102 : Carte de représentation des armures – course

- Nous avons déroulé la même procédure que pour la vitesse de marche : nous avons vérifié si les descripteurs étaient liés les uns aux autres par les panélistes en réalisant une ACP sur la matrice (produits/descripteurs) en considérant les descripteurs comme des variables et les produits 'armures' comme des observations. La carte de représentation est présentée dans la Figure 103 avec 85,17% de l'information sur les descripteurs. Nous constatons une corrélation positive entre les descripteurs : *rythmé*, *peinant-énergique* et *lent-rapide*. Les descripteurs *monotone-polyphonique*, *homogène-disharmonique* sont positivement corrélés. Une corrélation positive existe entre les descripteurs *grattage* et *abrasif* et ainsi qu'entre les descripteurs *grave-aigu* et *sifflant*. Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus pour la vitesse de marche.

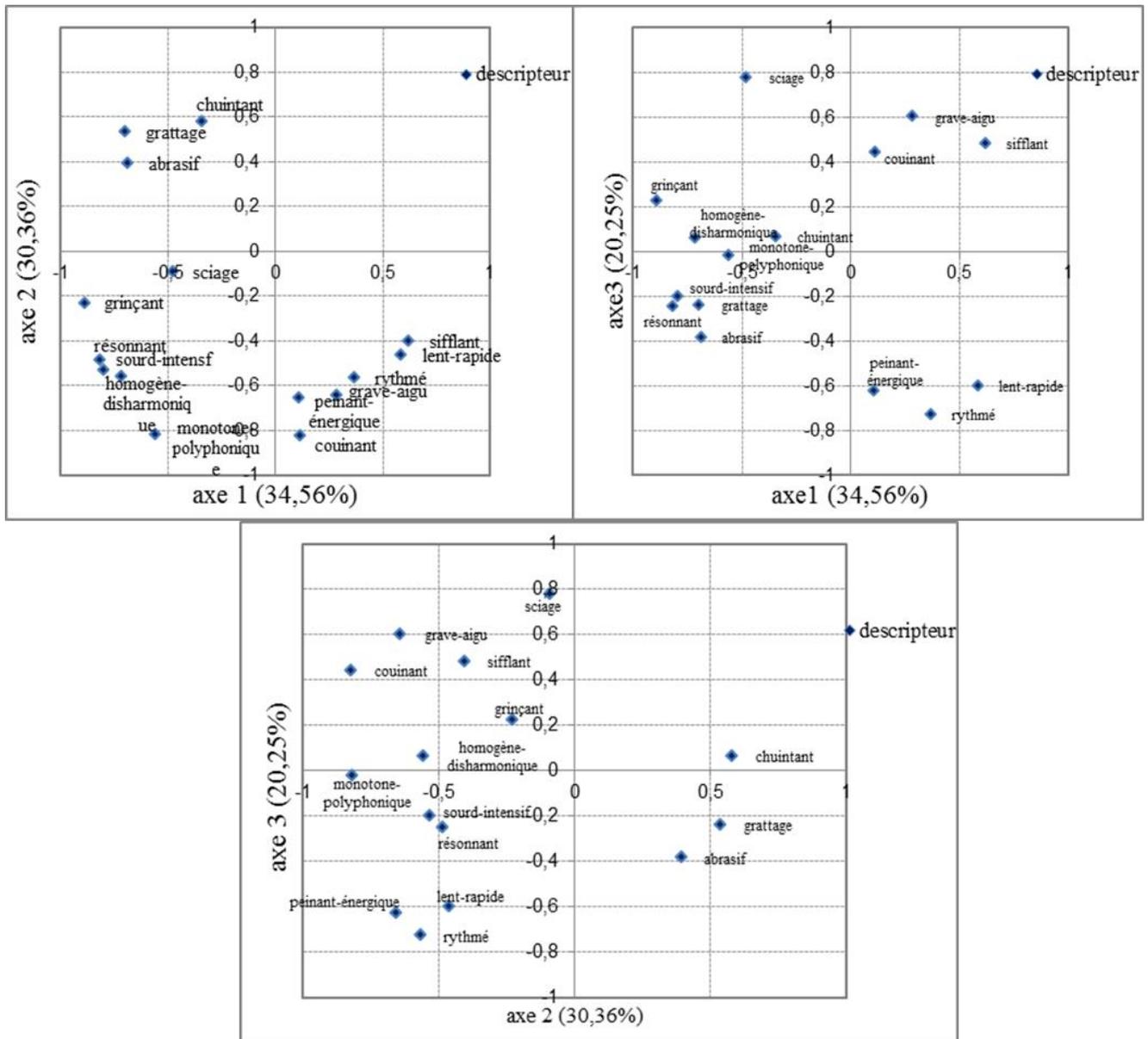


Figure 103 : Test ACP des descripteurs dans la phase de caractérisation du bruit – course

21.5 COMPARAISON ENTRE LA PERCEPTION AUDITIVE DU BRUIT DE FROTTEMENT DES ETOFFES POUR LES DEUX VITESSES DE FROTTEMENT

Nous avons comparé les profils sensoriels des bruits de frottement des armures en coton écru pour les deux vitesses de frottement. Puisque les descripteurs discriminants sont différents pour les deux vitesses de frottement, une seule évaluation a été faite en prenant en compte les descripteurs qui sont en commun entre les deux cas (marche et course). Les descripteurs communs sont les descripteurs discriminant déjà mentionnés dans le cas de marche. Nous avons comparé les profils sensoriels établis à partir de ces descripteurs. Nous avons choisi deux exemples pour comparer les profils sensoriels pour les deux vitesses de frottement : les profils sensoriels de l'armure satin 5 (Figure 104), ainsi les profils sensoriels de l'armure sergé 3 (Figure 105). Les comparaisons des

profils sensoriels des autres armures, pour les deux vitesses de frottement, se trouvent dans *l'annexe 14*.

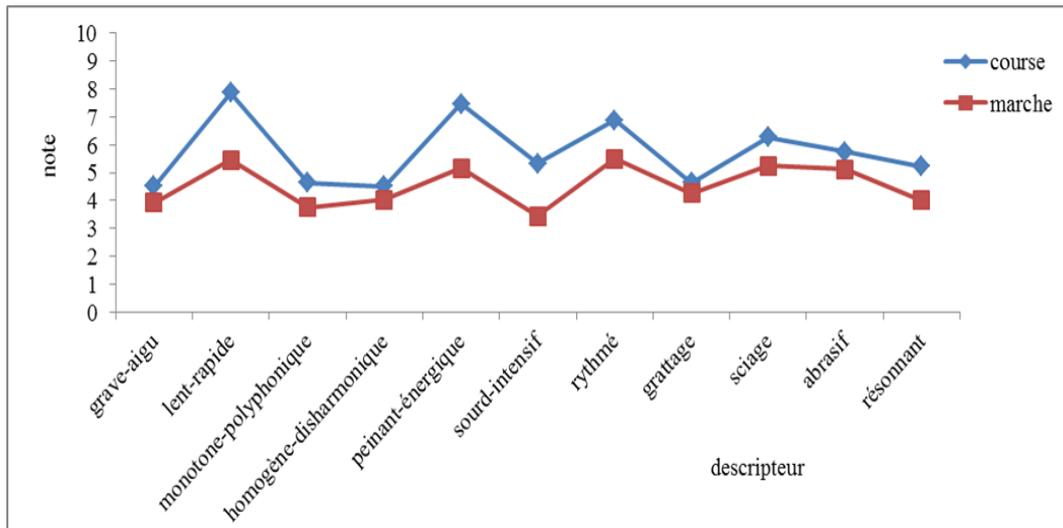


Figure 104 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure satin 5 pour les deux vitesses de frottement

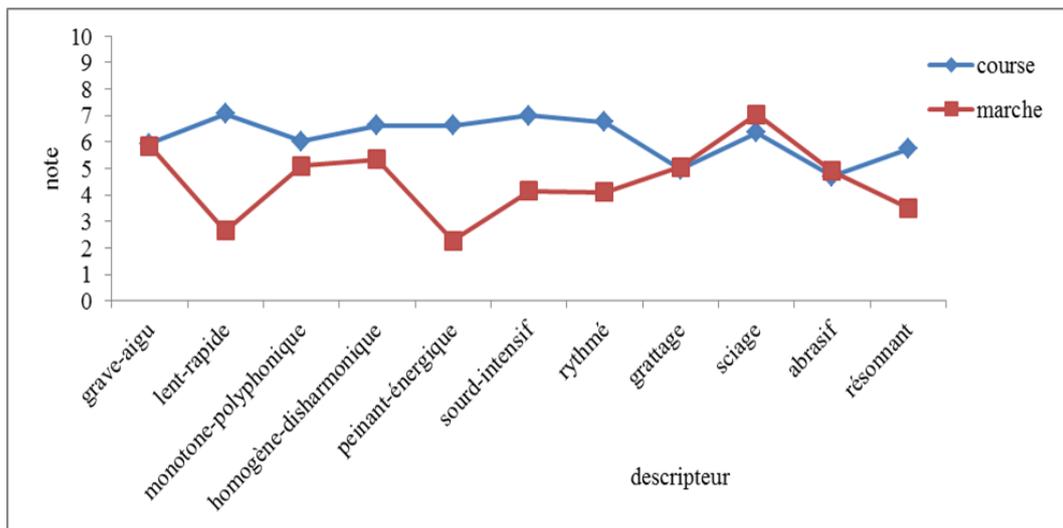


Figure 105 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure sergé 3 pour les deux vitesses de frottement

D'après la Figure 104, nous constatons que les profils sensoriels de l'armure satin 5 sont similaires pour les deux vitesses de frottement, mais avec une amplitude différente. Les panélistes perçoivent les bruits de frottement de la même manière avec une différence d'intensité sensorielle du stimulus (bruit de frottement). Le bruit généré à la vitesse de course a été perçu plus *intensif*, plus *énergique*, plus *rapide*, plus *polyphonique* et plus *disharmonique*. Cette différence de sensation est significative uniquement pour les descripteurs *lent-rapide*, *peinant-énergique* comme cela est présenté dans le Tableau 81.

D’après la Figure 105, le profil sensoriel du sergé 3 pour la vitesse de course est significativement différent de celui établi pour la vitesse de marche pour les descripteurs *lent-rapide*, *peinant-énergique*, *sourd-intensif* et *rythmé*.

Le Tableau 81 présente le test T Student (à 5% avec une valeur critique $t_{critique}=2,09$) afin de comparer la différence de l’intensité sensorielle attribuée à chaque descripteur, pour chaque armure, pour les deux vitesses de frottement.

Tableau 81 : Test T Student pour comparer la perception auditive des bruits de frottement des armures pour les deux vitesses de frottement

armure \ descripteur	chevron	crêpe	satin 4	satin 5	sergé 3	sergé 4	toile
grave-aigu	0,589	2,09	0,751	0,574	0,0662	5,2	1,62
lent-rapide	1,57	0,0361	1,56	4,05	7,75	1,5	0,756
monotone-polyphonique	0,405	0,342	0,069	0,659	0,673	0,352	0,719
homogène-disharmonique	0,178	1,22	0,0135	0,452	1,25	0,561	1,86
peinant-énergique	1,57	1,02	0,195	3,22	4,59	1,24	0,814
sourd-intensif	0,908	2,22	0,235	1,92	3,71	0,988	1,24
rythmé	0,297	0,23	0,0755	1,12	2,09	0,376	0,125
grattage	0,0135	1,39	0,341	0,246	0,0777	0,102	0,502
sciage	0,389	0,586	1,23	0,786	0,474	0,473	2,05
abrasif	0,368	0,686	0,41	0,493	0,119	0,303	0,0106
résonnant	0,546	0,11	0,44	0,92	1,72	0,824	0,237

Les valeurs en gris indiquent une différence significative de perception auditive du bruit de frottement des armures pour les deux vitesses de frottement.

D’après ce tableau, nous pouvons relever que la perception auditive du bruit de frottement de l’armure crêpe est significativement différente pour les descripteurs *grave-aigu* et *sourd-intensif*. Ainsi, la perception auditive est significativement différente en terme du descripteur *grave-aigu* pour l’armure sergé 4. Les autres descripteurs ont été perçus de manière similaire, avec une intensité sensorielle plus importante pour les bruits générés pour la vitesse de course, mais cette différence de sensation reste non significative. Le test CHA a été fait pour comparer le classement des armures, pour les descripteurs ‘communs’, pour les deux vitesses de frottement. Ce test est présenté dans la Figure 106.

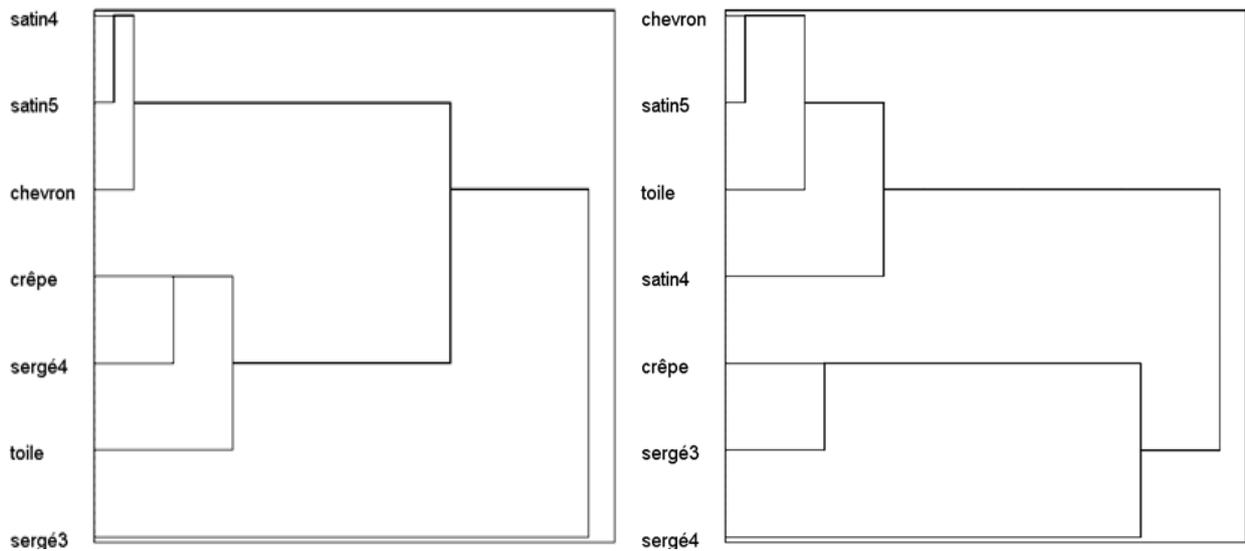


Figure 106 : Comparaison la classification des armures en terme sensoriel : à gauche (marche) et à droite (course)

D'après la Figure 106, nous constatons que les armures chevron et satin 5 se classent dans le même groupe pour les deux vitesses de frottement. L'armure satin 4 les rejoint pour la vitesse de marche alors que l'armure toile les rejoint pour la vitesse de course. L'armure crêpe est dans le même groupe que l'armure sergé 4 pour la vitesse de marche alors qu'elle est classé dans le même groupe que l'armure sergé 3 pour la vitesse de course. Les armures sergée 3 et sergé 4 forment leur propre groupe pour la vitesse de marche et de course respectivement.

Pour synthétiser les résultats concernant les armures en coton écru, nous avons établi un tableau qui présente les propriétés les plus pertinentes en terme instrumental et sensoriel. Cette synthèse est présentée dans le Tableau 82. Selon ce tableau, les armures satin 4 et sergé 3 présentent des propriétés sonores opposées en terme instrumental et sensoriel ; l'armure satin 4 présente le niveau sonore et une amplitude du maximum les moins importants avec une fréquence de maximum la plus importante ce qui rend son bruit moins perceptible et plus homogène et monotone avec une plage d'amplitude plus importante. L'armure satin 4 est décrite comme l'armure la plus furtive au contraire de l'armure sergé 3 qui est décrite comme l'armure le plus bruyante avec un bruit plus perceptible. Les armures satin 5, chevron et toile présentent un niveau sonore similaires, mais la présence d'un pic dans le spectre sonore de l'armure toile à une fréquence autour de 3 kHz rend ce bruit plus bruyant et plus perceptible et également moins homogène et moins monotone.

Tableau 82 : Synthèse des résultats des armures en coton écru

caractérisation armure	instrumentale				sensorielle			
	L _g	L _m	ΔL	F _m	bruyant	homogène	monotone	perceptible
sergé 3	++	++	--	--	++	--	--	++
satin 4	-	--	++	++	--	++	++	--
chevron	+	-	-	-	-	+	+	+
satin 5	+	-	+	+	-	+	+	-
toile	+	+	-	-	+	-	-	++

22 CONCLUSION

La méthode d'analyse descriptive quantitative a été appliquée dans le cadre de l'évaluation sensorielle des bruits de frottement des étoffes textiles. Le protocole de cette méthode a été suivi en respectant les recommandations de la norme NF ISO 11035. Une liste descriptive de 15 descripteurs a été établie par les 11 panélistes dont les capacités auditives ont été testées. La liste comprend 6 descripteurs bipolaires et 9 descripteurs polaires. Les performances des panélistes (la répétabilité, le pouvoir de discrimination et l'homogénéité) ont été contrôlées pendant la phase d'entraînement pour la vitesse de marche et la vitesse de course. Les panélistes sont globalement répétables avec une différence dans leur pouvoir de discrimination. Leurs réponses sensorielles sont homogènes grâce aux références établies à partir des bruits de frottements des étoffes testées. Les panélistes qui souffrent d'une perte auditive pour les hautes fréquences évaluent le descripteur *grave-aigu* de manière différente des autres panélistes, mais cette différence reste acceptable en regard de l'homogénéité des réponses sensorielles. Les panélistes ne perçoivent pas de différence significative entre les bruits de frottement des armures chevron et satin 5 pour les deux vitesses de frottement, les deux armures ont été classées dans le même groupe. Les bruits de ces armures ont été décrits comme des bruits ni *graves* ni *aigus* et comme des bruits *homogènes* et *monotones*. En même temps, les bruits de ces deux armures ont été perçus d'une manière identique au bruit de frottement de l'armure satin 4 pour la vitesse de marche, mais à la vitesse de course le bruit de satin 4 a été décrit plus *sourd* et plus *lent* avec une différence significative. L'armure toile présente un profil sensoriel similaire aux profils sensoriels des armures chevron et satin 5 avec une différence

significative, pour la vitesse de marche, pour les descripteurs *monotone-polyphonique*, *homogène-disharmonique*, *sourd-intensif*, *lent-rapide* et *peinant-énergique*. Le bruit de l'armure toile est plus *intensif*, plus *polyphonique*, plus *disharmonique*, plus *rapide* et plus *énergique*. Ceci a aussi été observé pour la vitesse de course, mais avec une différence significative pour les descripteurs *lent-rapide* et *grave-aigu* ; le bruit de l'armure toile a été significativement perçu plutôt *grave*. Le bruit de l'armure toile, pour la vitesse de marche, a été perçu d'une manière identique au bruit de l'armure sergé 3 pour le descripteur *homogène-disharmonique* alors que les bruits de ces deux armures ont été perçus différents en terme de descripteurs *lent-rapide*, *peinant-énergique*, *sourd-intensif* et *rythmé*. Le bruit de l'armure toile a été décrit le plus *rythmé* tandis que le bruit du sergé 3 a été décrit comme le moins *rythmé*. Les bruits de ces deux armures sont les plus *disharmoniques* pour la vitesse de marche. Mais pour la vitesse de course, le bruit du sergé 3 est le bruit le plus *polyphonique* et le plus *disharmonique* avec une différence significative des bruits par rapport aux autres armures. Il n'y a pas de différence significative en terme de perception auditive des bruits pour les armures sergé 3 et sergé 4, pour la vitesse de course, pour le descripteur *monotone-polyphonique*. Le bruit de l'armure sergé 4 a été décrit comme le bruit le plus *aigu* pour la vitesse de course tandis que le bruit de l'armure crêpe a été décrit comme étant le plus *aigu* pour la vitesse de marche. La perception auditive du bruit de frottement des armures est similaire pour les deux vitesses de frottement avec une amplitude plus grande pour la vitesse de course, mais cette différence reste non significative pour la plus part des armures testées.

Les panélistes trouvent une liaison en terme sensorielle entre les descripteurs dans le cadre d'évaluation les bruits de frottement des étoffes textiles.

CHAPITRE 3

*Corrélation les données et développement d'un vêtement
furtif*

23 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons successivement présenter deux modèles permettant de relier les différents jeux de données obtenus avec le niveau sonore global du bruit de frottement des étoffes textiles : données instrumentales relatives aux étoffes et données sensorielles des sons de frottement perçus. Dans un premier temps, nous allons proposer un modèle qui exprime la relation entre le niveau sonore global du bruit de frottement des étoffes et certains paramètres mécaniques des étoffes (modèle 1). Nous allons ensuite proposer, un modèle reliant le niveau sonore et la sensation auditive (modèle 2) exprimé au travers de certains descripteurs sensoriels. Ces modèles proposés sont sous forme d'une relation linéaire entre le niveau sonore et les paramètres mécaniques et sensoriels. Les étoffes qui ont été prises en compte pour établir ces modèles sont les étoffes en coton écru présentées dans les chapitres précédents et présentant des variantes en termes d'armure. Les modèles ont été développés pour les niveaux sonores générés pour les deux vitesses de frottement marche et course.

Par la suite, dans ce chapitre, nous allons développer un vêtement furtif (veste d'homme), pour une application cynégétique ou sportive, avec deux types de construction de manche. Le bruit de frottement de la veste va être analysé, en situation réelle dans une chambre anéchoïque, grâce à des panélistes entraînés. L'analyse acoustique de ce bruit sera effectuée pour les deux vitesses de frottement.

24 CORRELATION ENTRE LE NIVEAU SONORE ET LES PARAMETRES MECANIQUES

Les paramètres mécaniques qui ont été choisis pour développer le modèle 1 sont les paramètres qui décrivent l'état de surface des étoffes (le frottement et la rugosité) et les paramètres qui décrivent la compression des étoffes. Nous avons choisi ces deux paramètres mécaniques uniquement car selon les études trouvées dans la littérature, les contraintes des étoffes à l'usage sont le frottement de surface et la compression. Ces paramètres mécaniques ont été déjà mesurés par Issa [259] lors qu'il a réalisé ses travaux sur le toucher des étoffes textiles. Les valeurs moyennes des mesures obtenues, grâce à la chaîne de mesure Kawabata (KES-FB3 pour les paramètres de compression et KES-FB4 pour les paramètres de frottement et de rugosité), sont présentées dans le Tableau 83.

Tableau 83 : Les paramètres mécaniques des étoffes testées [259]

éttoffe \ paramètres	paramètres de surface			paramètres de compression			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
sergé 3	0,184	0,02	5,585	0,28	0,26	48,32	1,28
sergé 4	0,185	0,02	4,93	0,29	0,27	50,79	1,33
chevron	0,195	0,02	6,23	0,29	0,3	44,47	1,45
satin 5	0,195	0,015	4,58	0,28	0,28	49,22	1,38
crêpe	0,195	0,03	5,69	0,28	0,28	50,9	1,4
satin 4	0,175	0,025	5,06	0,29	0,28	51,08	1,34
toile	0,189	0,03	8,96	0,26	0,27	52,18	1,29

Avec

X₁ : coefficient de frottement (MIU)

X₂ : moyenne quadratique de MIU

X₃ : rugosité géométrique (µm)

X₄ : linéarité de compression

X₅ : énergie de compression (gf.cm/cm²)

X₆ : résilience de compression (%)

X₇ : épaisseur (mm)

24.1 CAS DE LA MARCHÉ

Nous avons choisi, dans un premier temps, un modèle linéaire du type :

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots$$

Y : variable à expliquer (niveau sonore global du bruit de frottement des armures en coton écru, généré pour la vitesse de marche). Les valeurs de cette variable sont les niveaux sonores moyens qui sont obtenus dans le cadre du traitement du signal acoustique des étoffes textiles (cf. partie expérimentale – chapitre 1, § 18.3).

X_i : variable explicative (paramètres mécaniques présentés dans le Tableau 83)

- La première étape est de choisir les paramètres explicatifs X_i (indépendants) les plus corrélés avec le niveau sonore du bruit de frottement ; le coefficient de corrélation avec la variable dépendante Y doit être le plus important possible.

Le Tableau 84 présente le coefficient de corrélation (coefficient de Pearson) entre les différentes variables.

Tableau 84 : Coefficient de corrélation entre les paramètres mécaniques et le niveau sonore- marche

paramètres		paramètres de surface			paramètres de compression			
corrélation		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
X ₁	corrélation de Pearson	1						
	Sig. (bilatérale)							
	N	7						
X ₂	corrélation de Pearson	-0,100	1					
	Sig. (bilatérale)	0,831						
	N	7	7					
X ₃	corrélation de Pearson	0,148	0,632	1				
	Sig. (bilatérale)	0,752	0,128					
	N	7	7	7				
X ₄	corrélation de Pearson	-0,233	-0,491	-0,801*	1			
	Sig. (bilatérale)	0,615	0,263	0,030				
	N	7	7	7	7			
X ₅	corrélation de Pearson	0,433	-0,101	-0,079	0,409	1		
	Sig. (bilatérale)	0,332	0,830	0,866	0,363			
	N	7	7	7	7	7		
X ₆	corrélation de Pearson	-0,381	0,555	0,194	-0,458	-0,594	1	
	Sig. (bilatérale)	0,400	0,196	0,677	0,302	0,160		
	N	7	7	7	7	7	7	
X ₇	corrélation de Pearson	0,603	-0,172	-0,279	0,478	0,928**	-0,595	1
	Sig. (bilatérale)	0,152	0,712	0,545	0,278	0,003	0,159	
	N	7	7	7	7	7	7	7
Y	corrélation de Pearson	0,351	-0,205	0,396	-0,383	-0,160	-0,531	-0,163
	Sig. (bilatérale)	0,440	0,660	0,379	0,397	0,732	0,220	0,726
	N	7	7	7	7	7	7	7

* la corrélation est significative au niveau 0,05
** la corrélation est significative au niveau 0,1

D'après le Tableau 84, nous constatons que les variables X₁, X₃, X₄ et X₆ sont significativement corrélées avec Y. Cette corrélation significative a été prise avec un niveau de confiance P=75% et avec une valeur critique du coefficient de corrélation $r_{\text{critique}} = 0,3091$.

Nous observons que X₁ (coefficient de frottement) et X₃ (rugosité géométrique), les deux paramètres qui caractérisent l'état de surface, sont significativement corrélés avec le niveau sonore. Les coefficients de corrélation de ces deux paramètres sont très proches avec une valeur légèrement plus importante pour X₃. Afin de choisir le paramètre de la surface qui va être inclus dans le modèle, nous avons calculé l'influence de chacun par la formule suivante [263]: $Z = \frac{M}{L}$ Équation 36

Avec :

Z : Influence du paramètre.

M : Valeur moyenne du paramètre.

L : Etendue du paramètre (la différence entre la valeur la plus grande et la plus petite du paramètre).

Le Tableau 85 présente l'influence de ces deux paramètres sur le niveau sonore du bruit de frottement des armures en coton écru.

Tableau 85 : L'influence des paramètres de surface sur le niveau sonore du bruit de frottement

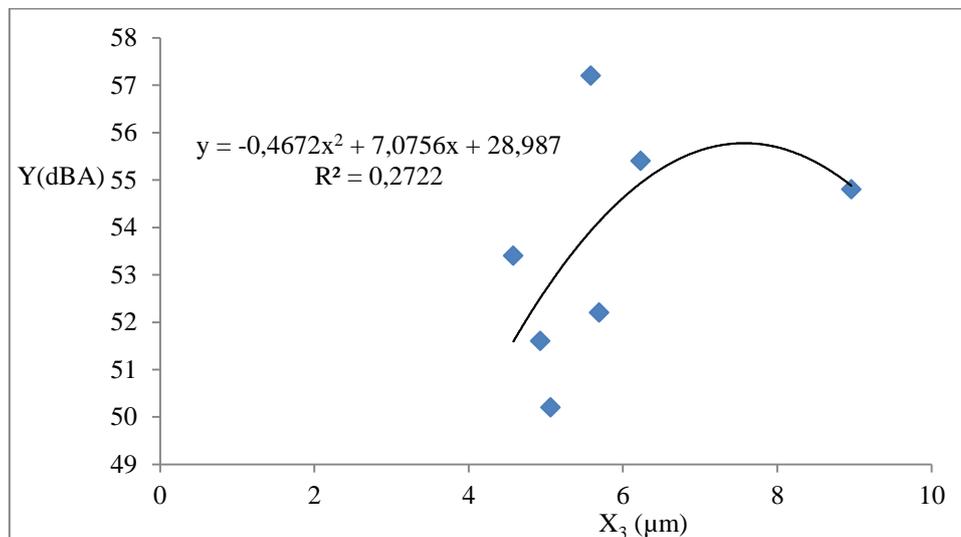
paramètre \ influence du paramètre	X_1 (coefficient de frottement)	X_3 (rugosité géométrique) (μm)
L	0,188	5,860
M	0,020	4,380
Z	0,106	0,747

D'après le Tableau 85, nous constatons que X_3 (rugosité) a une influence plus importante sur le niveau sonore. Pour cela, avons uniquement choisi X_3 comme un paramètre de l'état de surface.

X_4 (linéarité de compression), X_6 (résilience de compression) sont les deux paramètres qui représentent la compression des étoffes et qui sont bien anti-corrélés avec le niveau sonore du bruit de frottement. Mais ces deux paramètres sont aussi significativement corrélés entre eux ($r = -0,458$). Pour cela, nous avons gardé X_6 , le plus corrélé avec le niveau sonore ($r = -0,531$). Par conséquent, seulement deux paramètres vont être inclus dans le modèle : X_3 et X_6 .

- La deuxième étape est d'établir une relation entre les paramètres explicatifs choisis X_i et le niveau sonore Y .

La relation entre X_3 (rugosité) et Y (niveau sonore) est présentée dans la Figure 107.

**Figure 107 : Relation entre la rugosité et le niveau sonore global - marche**

D'après la Figure 107, la relation entre X_3 et Y est nettement non linéaire. Cette forme de relation ne nous permet pas d'appliquer une régression linéaire entre les paramètres explicatifs et le paramètre à expliquer. Pour cela, nous avons transformé ces deux variables grâce au tableau des fonctions de transformation présentée dans l'annexe 15.

Selon la forme la relation entre X_3 et Y , nous avons transformé les variables en utilisant les fonctions de transformation suivantes :

$$X'_3 = \frac{1}{X_3 - 4} \quad \text{Équation 37}$$

$$Y' = \frac{1}{Y - 58} \quad \text{Équation 38}$$

La valeur (4) dans le dénominateur de l'équation 37 a été choisie de façon à ce qu'elle soit inférieure à valeur minimum de X_3 dans le Tableau 83 ($X_{3\min} = 4,58$). La valeur (58) dans le dénominateur de l'équation 38 a été choisie de façon qu'elle soit plus importante de la valeur maximum du niveau sonore enregistré ($Y_{\max} = 57,2$).

Tableau 86 : Les valeurs transformées de la rugosité et du niveau sonore- marche

X_3	Y	$X_3 - 4$	$Y - 58$	X'_3	Y'
5,585	57,2	1,585	-0,8	0,63	-1,250
4,93	51,6	0,93	-6,4	1,08	-0,1563
6,23	55,4	2,23	-3,6	0,45	-0,3846
4,58	53,4	0,58	-4,6	1,72	-0,2174
5,69	52,2	1,69	-5,8	0,59	-0,1724
5,06	50,2	1,06	-7,8	0,94	-0,1282
8,96	54,8	4,96	-3,2	0,20	-0,3125

La Figure 108 nous montre la relation entre X'_3 and Y' . Cette relation est linéaire avec un coefficient de corrélation ($r = \sqrt{0,2591} = 0,509$).

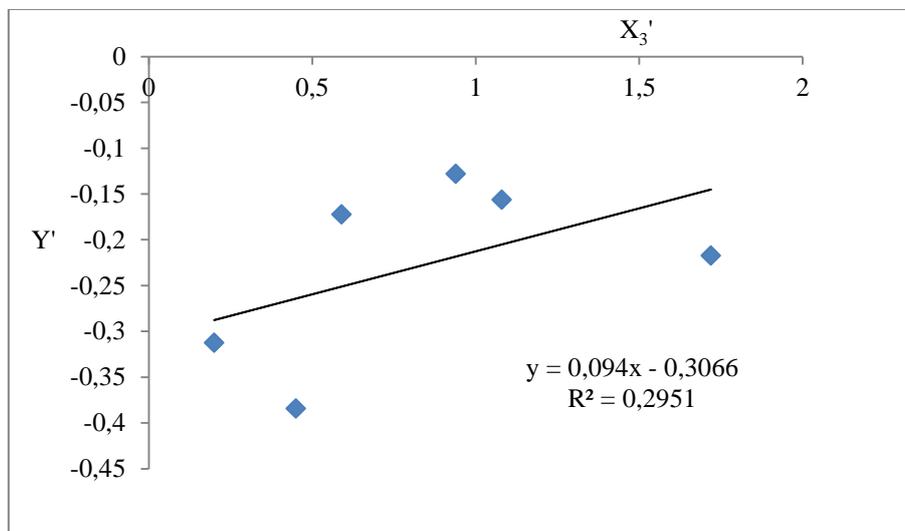


Figure 108 : Relation entre la rugosité et le niveau sonore transformés - marche

D'après la Figure 108, nous constatons que l'influence entre X'_3 et Y' est la même que celle entre X_3 et Y (Figure 107) mais avec une meilleure tendance de linéarité.

La relation entre X_6 (la résilience de compression) et Y est présentée dans la Figure 109. Cette relation présente une meilleure corrélation entre les variables sous forme linéaire avec un coefficient $r = \sqrt{0,2816} = 0,53$. Selon cette relation, le niveau sonore diminue quand la résilience de compression augmente : plus la structure a la capacité à récupérer sa forme initiale après la

déformation, moins le niveau sonore généré par la vibration de cette structure est perceptible. Ce résultat est en accord avec le résultat obtenu dans la littérature [43].

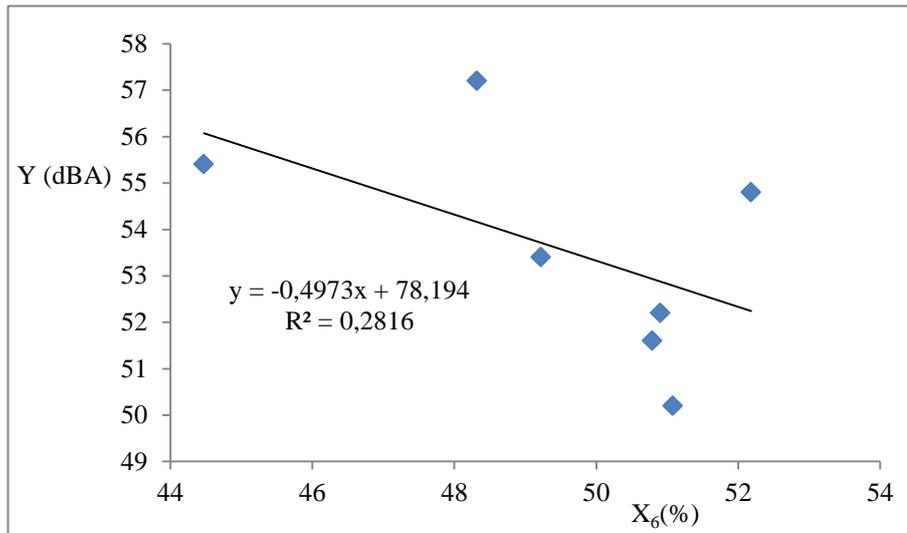


Figure 109 : Relation entre la résilience de compression et le niveau sonore

- La troisième étape consiste à réaliser la régression linéaire multiple entre Y et les paramètres X_3' et X_6 . Dans cette étape, nous avons vérifié la qualité du modèle (coefficient de détermination R^2) et la signification du modèle (F-Fisher).

Les coefficients de régression et les constantes à introduire dans le modèle sont présentés dans le Tableau 87.

Tableau 87 : Coefficients de régression linéaire du modèle 1- marche

modèle	coefficients non standardisés		coefficients standardisés	T Student	Sig.
	B	écart standard	Bêta		
constantes	78,783	17,725		4,445	0,011
X_3'	-1,802	1,847	-0,372	-0,976	0,384
X_6	-0,480	0,357	-0,512	-1,343	0,250

D'après le Tableau 87, nous obtenons que X_3' a un coefficient de régression plus important avec Y ($B = -1,802$). L'influence de la variation de X_6 sur Y est plus importante avec une valeur de Bêta plus importante ($Bêta = -0,512$). Ainsi, le test de Student nous montre que la relation entre Y et X_6 est un peu plus significative.

Le modèle, avec les variables transformées, peut s'écrire comme suit :

$$Y = 78,783 - 1,802 X_3' - 0,480 X_6 \quad \text{Équation 39}$$

En remplaçant la variable transformée X_3' par la variable initiale X_3 dans l'équation 39, on obtient le modèle 1 dans le cas de la marche :

$$Y = 78,783 - 1,802 \left(\frac{1}{X_3 - 4} \right) - 0,480 X_6 \quad \text{Équation 40}$$

Le modèle obtenu présente des caractéristiques qui sont présentés dans le Tableau 88.

Tableau 88 : Récapitulatif du modèle 1 - marche

R ²	R ² ajusté	erreur standard de l'estimation	les statistiques			
			variation de F	ddl1	ddl2	Sig. variation de F
0,420	0,130	2,258	2,05	2	4	0,24

D'après le Tableau 88, le modèle 1 présente ($R^2=42\%$) des données dans le cas de la marche.

D'après l'analyse de variance présentée dans le Tableau 89, la valeur de F-Fisher est de 2,05 et le modèle est significatif à P-value = 75% avec $F_{\text{critique}} = 1,76$.

Tableau 89 : ANOVA pour le modèle 1- marche

modèle 1	somme des carrés	ddl	carré moyen	F	Sig.
régression	17,80	2	8,90	2,05	0,24
résidus	17,37	4	4,34		
total	35,17	6			

Si l'on compare l'armure sergé 3 (le tissu le plus bruyant) et l'armure satin 4 (le tissu le plus furtif) ; nous trouvons que la rugosité de la surface du sergé 3 est plus importante (5,6 μm) et sa résilience en compression est moins importante (48 %) ce qui s'interprète, selon le modèle, par un niveau sonore important du bruit de frottement de cette armure. Si l'on compare les armures satin 5 et chevron nous trouvons que le niveau sonore du chevron est plus important car sa rugosité est plus importante et sa résilience en compression est moins importante (sa capacité à récupérer la forme initiale après une déformation de compression est moins importante et la déformation de l'étoffe est plus importante avec un comportement moins élastique à la compression [14][264]).

- La troisième étape est la validation du modèle. Pour justifier la capacité du modèle à prédire le niveau sonore global du bruit, nous avons choisi deux étoffes en coton écru de même caractéristiques que celles des étoffes choisies pour établir le modèle. Les armures satin 6 et satin 12 sont des tissus en coton écru fabriquées avec mêmes titres des fils et ayant le même indice de saturation que les autres armures déjà mentionnées. Le niveau sonore prédit selon les valeurs de la rugosité (X_3) et de la résilience de compression (X_6), ainsi que leur niveau sonore mesuré (niveau sonore réel mesuré) sont présentés dans le Tableau 90.

Tableau 90 : Erreur obtenue par le modèle 1 - marche

armure \ paramètre	X_6	X_3	niveau sonore prédit	niveau sonore mesuré	erreur
satin 6	53,81	4,45	48,95	51	4,01%
satin 12	50,44	7,55	54,06	52,8	2,38%

D'après le Tableau 90, nous constatons que l'erreur obtenue entre la valeur prédite par le modèle et la valeur réelle mesurée est faible (moins de 5%) pour les deux armures et le modèle peut être considéré comme un bon prédicteur du bruit de frottement, généré à la vitesse de marche, des armures en coton écru. Il est bien évident, dans le Tableau 90 que l'armure satin 12 est plus bruyante car elle présente une rugosité plus importante et une résilience de compression moins importante. Ce modèle est représenté dans la Figure 110. Cette figure montre la diminution linéaire du niveau sonore du bruit de frottement en fonction de la résilience en compression ainsi que l'augmentation linéaire de celui-ci en fonction de la rugosité à partir de 5,4 μm .

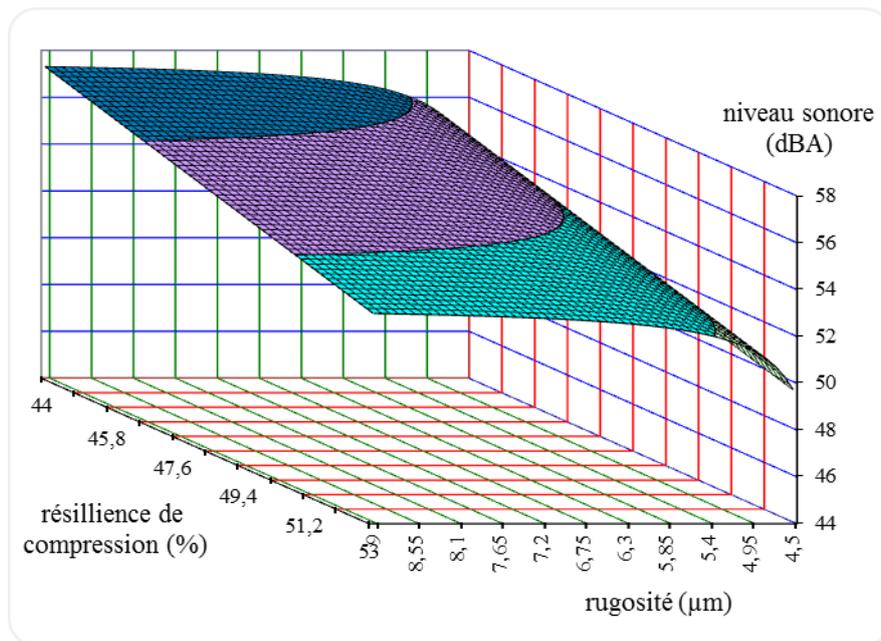


Figure 110 : Représentation du modèle 1 - marche

24.2 CAS DE LA COURSE

En appliquant la même méthode que celle suivie dans le cas de la marche, nous avons établi un modèle explicatif de la relation entre les paramètres mécaniques des armures en coton écru et les niveaux sonores des bruits générés pour la vitesse de course. Les niveaux sonores à introduire dans le modèle sont les niveaux sonores moyens enregistrés à la vitesse de course qui ont déjà été présentés dans le cadre de traitement du signal sonore (cf. partie expérimentale – chapitre 1, § 18.3).

- Le coefficient de corrélation entre les paramètres mécaniques et le niveau sonore généré pour la vitesse de course est présenté dans le Tableau 91. D'après le Tableau 91, nous trouvons que les variables X_3 , X_4 , X_5 et X_7 sont significativement corrélées avec Y pour $P\text{-value} = 75\%$ et une valeur critique $r = 3091$. Les variables X_4 et X_5 sont significativement corrélées ($r = 0,409$). Par la suite nous avons retenu X_5 comme étant significativement la variable la plus corrélée avec Y . Les variables X_7 , X_5 sont significativement corrélées ($r = 0,928$). La variable X_7 (épaisseur) ne

sera donc pas incluse dans le modèle. Par conséquent, X_3 (la rugosité) et X_5 (l'énergie de compression) vont être incluses dans le modèle.

Tableau 91 : Coefficient de corrélation entre les paramètres mécaniques et le niveau sonore - course

paramètres		paramètres de surface			paramètres de compression			
corrélation		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	corrélation de Pearson	1						
	Sig. (bilatérale)							
	N	7						
X_2	corrélation de Pearson	-0,100	1					
	Sig. (bilatérale)	0,831						
	N	7	7					
X_3	corrélation de Pearson	0,148	0,632	1				
	Sig. (bilatérale)	0,752	0,128					
	N	7	7	7				
X_4	corrélation de Pearson	-0,233	-0,491	-0,801*	1			
	Sig. (bilatérale)	0,615	0,263	0,030				
	N	7	7	7	7			
X_5	corrélation de Pearson	0,433	-0,101	-0,079	0,409	1		
	Sig. (bilatérale)	0,332	0,830	0,866	0,363			
	N	7	7	7	7	7		
X_6	corrélation de Pearson	-0,381	0,555	0,194	-0,458	-0,594	1	
	Sig. (bilatérale)	0,400	0,196	0,677	0,302	0,160		
	N	7	7	7	7	7	7	
X_7	corrélation de Pearson	0,603	-0,172	-0,279	0,478	0,928**	-0,595	1
	Sig. (bilatérale)	0,152	0,712	0,545	0,278	0,003	0,159	
	N	7	7	7	7	7	7	7
Y	corrélation de Pearson	0,039	-0,008	0,309	-0,349	-0,496	-0,264	-0,450
	Sig. (bilatérale)	0,934	0,986	0,500	0,444	0,257	0,568	0,311
	N	7	7	7	7	7	7	7

***la corrélation est significative au niveau 0,05**
****la corrélation est significative au niveau 0,1**

- La relation entre X_3 (la rugosité) et Y est non linéaire comme cela est présenté dans la Figure 111.

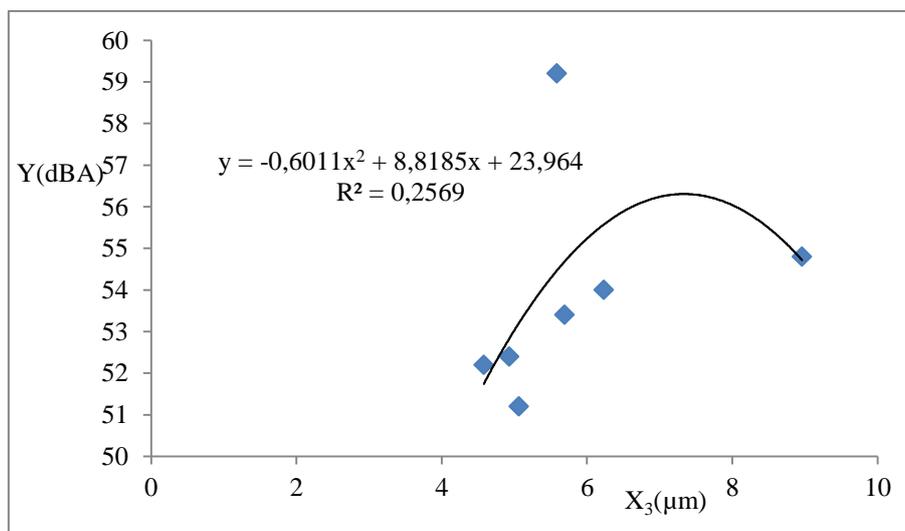


Figure 111 : Relation entre la rugosité des étoffes et le niveau sonore – course

Cette relation polynomiale a été transformée en relation linéaire en effectuant un changement des variables (X_3, Y) présenté dans le Tableau 92. D'après la Figure 112, la relation entre Y' et X_3' est linéaire ($r = \sqrt{0,6167} = 0,78$).

Tableau 92 : Fonctions de transforme de la rugosité et du niveau sonore - course

X_3	Y	$X_3 - 4$	$Y - 60$	$X_3' = 1/X_3 - 4$	$Y' = 1/Y - 60$
5,585	59,2	1,585	-0,8	0,63	-1,250
4,93	52,4	0,93	-7,6	1,08	-0,1316
6,23	54	2,23	-6	0,45	-0,1667
4,58	52,2	0,58	-7,8	1,72	-0,1282
5,69	53,4	1,69	-6,6	0,59	-0,1515
5,06	51,2	1,06	-8,8	0,94	-0,1136
8,96	54,8	4,96	-5,2	0,20	-0,1923

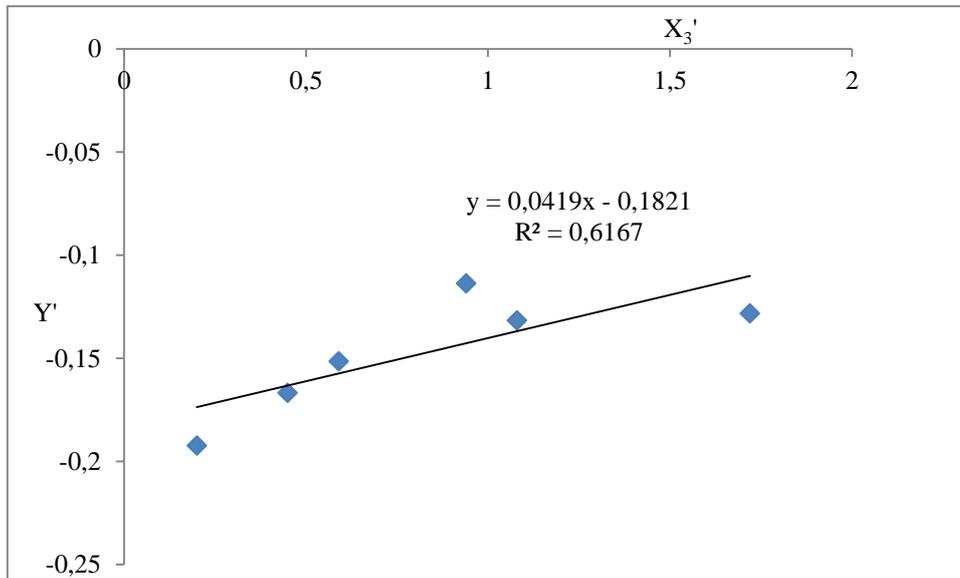


Figure 112 : Relation entre la rugosité et le niveau sonore transformés – course

La relation entre X_5 et Y est polynomiale comme cela apparaît dans la Figure 113 ; quand X_5 (énergie de compression) augmente, le niveau sonore diminue puis remonte.

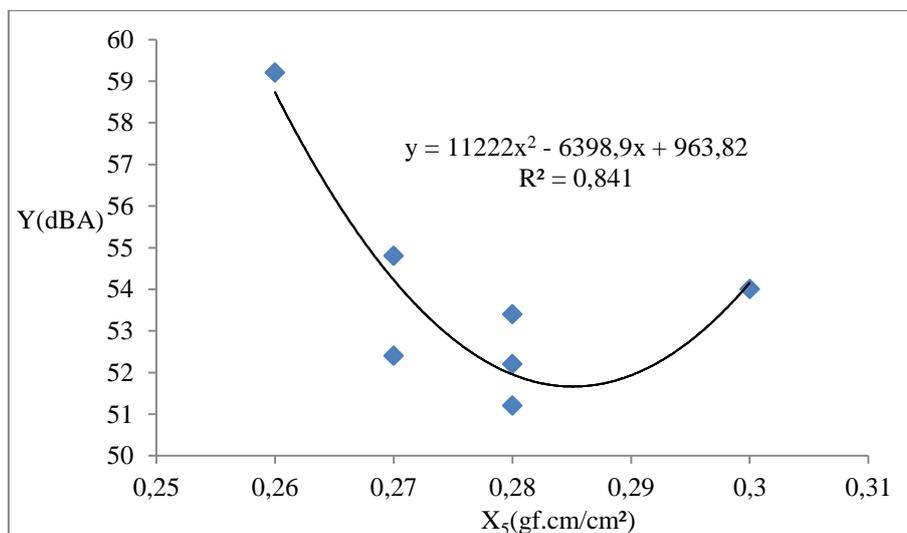


Figure 113 : Relation entre l'énergie de compression et le niveau sonore - course

En utilisant les fonctions de transformation mentionnées dans le Tableau 93, la relation devient linéaire avec un coefficient de corrélation ($r = \sqrt{0,5219} = 0,7218$). La relation linéaire entre X_5' et Y' est présentée dans la Figure 114.

Tableau 93 : Fonctions de transforme de l'énergie de compression et du niveau sonore - course

X_5	Y	$X5-0,20$	$Y-60$	$X5' = 1/X5-0,20$	$Y' = 1/Y-60$
0,26	59,2	0,06	-0,8	16,6667	-1,250
0,27	52,4	0,07	-7,6	14,2857	-0,1316
0,3	54	0,1	-6	10,0000	-0,1667
0,28	52,2	0,08	-7,8	12,5000	-0,1282
0,28	53,4	0,08	-6,6	12,5000	-0,1515
0,28	51,2	0,08	-8,8	12,5000	-0,1136
0,27	54,8	0,07	-5,2	14,2857	-0,1923

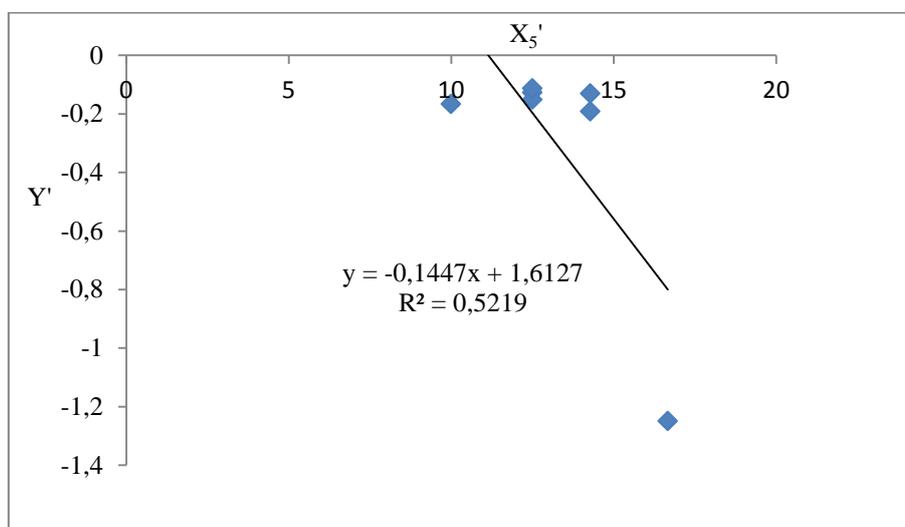


Figure 114 : Relation entre l'énergie de compression et le niveau sonore transformés- course

Le coefficient de corrélation entre Y et les variables transformées X_3' et X_5' est plus important que celui entre Y et les variables initiales X_3 , X_5 comme cela est présenté dans le Tableau 94. Ceci confirme l'importance de transformer les variables explicatives pour avoir un coefficient de corrélation plus important avec la variable dépendante.

Tableau 94 : Coefficient de corrélation entre les variables indépendantes transformées et la variable dépendante - course

		X_3'	X_5'	Y
X_3'	corrélation de Pearson	1		
	Sig. (bilatérale)			
	N	7		
X_5'	corrélation de Pearson	-0,066	1	
	Sig. (bilatérale)	0,888		
	N	7	7	
Y	corrélation de Pearson	-0,473	0,633	1
	Sig. (bilatérale)	0,284	0,127	
	N	7	7	7

- Une régression linéaire multiple a été faite entre la variable dépendante Y et les variables indépendantes transformées pour établir le modèle. Le Tableau 95 présente les coefficients de régressions et les constantes à introduire dans le modèle.

Tableau 95 : Coefficient de régression du modèle 1- course

modèle	coefficients non standardisés		coefficients standardisés	T Student	Sig.
	B	écart standard	Bêta		
constantes	45,60	5,698		8,003	0,001
X_3'	-2,279	1,696	-0,433	-1,344	0,250
X_5'	0,763	0,407	0,604	1,876	0,134

D'après le Tableau 95, la régression linéaire entre les variables transformées X_3' , X_5' et la variable Y peut s'écrire dans la formule suivante :

$$Y = 45,60 - 2,279X_3' + 0,763X_5' \quad \text{Équation 41}$$

En reprenant les valeurs initiales X_3 , X_5 on peut présenter le modèle final par l'équation suivante :

$$Y = 45,60 - 2,279\left(\frac{1}{X_3-4}\right) + 0,763\left(\frac{1}{X_5-0,20}\right) \quad \text{Équation 42}$$

D'après l'équation 42, le niveau sonore augmente avec la rugosité et ceci peut être expliqué par le fait que plus la rugosité est élevée, plus la surface de contact du textiles est importante et l'amplitude de vibration est importante et par la suite le bruit généré est plus important [265]. Ainsi, les efforts de contact provoquent une déformation élastique des aspérités de surface textile (les aspérités agissent comme le ressort), cette déformation des aspérités devient plus importante avec la vitesse de frottement, ce qui explique l'augmentation du niveau sonore du bruit de frottement. Par contre, le niveau sonore diminue quand l'énergie de compression est élevée, ceci peut être interprété par le besoin d'une énergie de compression plus importante pour déformer la structure de l'étoffe. L'étoffe aura besoin de plus d'énergie pour subir des vibrations et générer le bruit de frottement. L'énergie de compression peut être considérée comme un indice représentant le volume de l'air contenu à l'intérieur de la structure [266][14] : quand l'énergie de compression est moins importante, le volume de l'air à l'intérieur de la structure est plus important et la structure peut se déformer plus facilement (structure compressible). Les ondes sonores se propagent dans le milieu avec une moindre absorption par l'étoffe elle-même. Quand l'énergie de compression est plus importante, le volume de l'air est moins important et la quantité des fibres (structure) est plus importante. Les fibres de structure textile forment des obstacles à la propagation des ondes sonores, ce qui transforme l'énergie acoustique en énergie thermique. Le coefficient d'absorption augmente et le niveau sonore du bruit donc diminue [267][268][269].

Le récapitulatif du modèle est présenté dans le Tableau 96.

Tableau 96 : Récapitulatif du modèle 1- course

R ²	R ² ajusté	erreur standard de l'estimation	les statistiques			
			variation de F	ddl1	ddl2	Sig. variation de F
0,587	0,380	2,07	2,84	2	4	0,17

Le modèle présente $R^2=58,7\%$ des données.

Le modèle est significatif à P-value = 75% avec $F_{\text{critique}} = 1,76$ comme cela est présenté dans le Tableau 97.

Tableau 97 : ANOVA du modèle 1 - course

modèle	somme des carrés	ddl	carré moyen	F	Sig.
régression	24,41	2	12,20	2,84	0,17
résidus	17,17	4	4,29		
total	41,58	6			

- Validation du modèle : De la même manière, pour vérifier l'erreur obtenue entre la valeur prédite par le modèle et la valeur réelle mesurée, nous reprenons les mêmes armures satin 6 et satin 12.

La comparaison entre le niveau sonore prédit et le niveau sonore mesuré est présentée dans le Tableau 98.

Tableau 98 : Erreur obtenue par le modèle 1 - course

paramètre armure	X ₅	X ₃	niveau sonore prédit	niveau sonore mesuré	erreur
	satin 6	0,24	4,45	59,6	54
satin 12	0,33	7,55	50,82	56	9,25%

L'erreur obtenue est plus importante que celle obtenue dans le cas de marche, mais le modèle prédit le niveau sonore avec un degré de confiance égale à 90%.

Ce modèle est présenté dans la Figure 115.

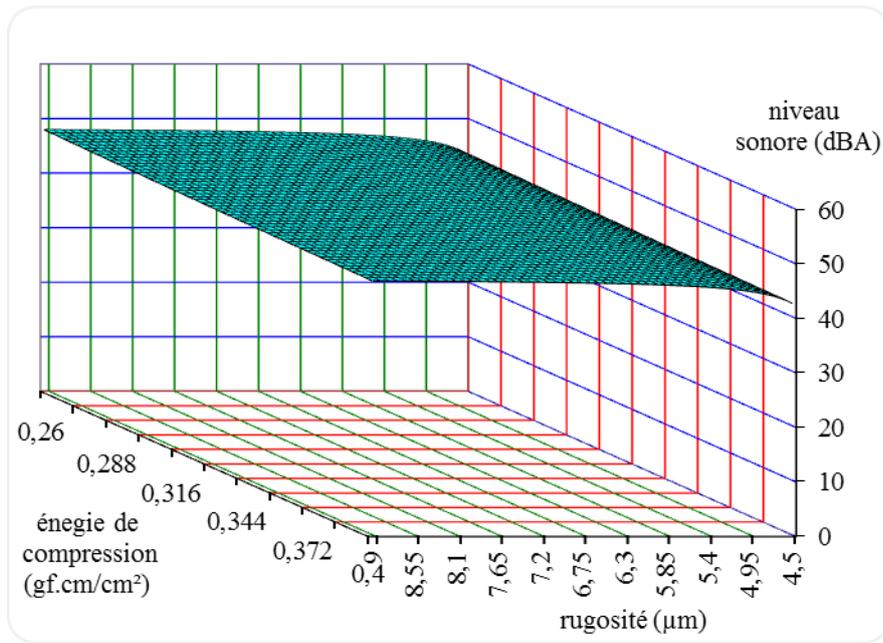


Figure 115 : Représentation du modèle 1 – course

- Pour établir le modèle général qui présente la relation entre le niveau sonore du bruit de frottement des armures en coton écru et les paramètres mécaniques quelle que soit l'activité (marche ou course), nous nous sommes basés sur les paramètres déjà inclus dans les deux modèles établis précédemment et qui présentent une relation linéaire. Les paramètres mécaniques inclus dans le modèle général sont X_3' , X_5' et X_6 . En prenant l'ensemble des valeurs attribuées à ces paramètres pour les deux vitesses de frottement ; les valeurs de ces paramètres mécaniques ont été prises à deux reprises. Ainsi, nous avons pris l'ensemble des valeurs attribuées à Y (niveau sonore) pour les deux vitesses de frottement. Le coefficient de corrélation entre ces variables intégrant dans le modèle général est présenté dans le Tableau 99.

Tableau 99 : Coefficient de corrélation entre les variables du modèle 1- général

		X_3'	X_5'	X_6
corrélation de Pearson	Y	-0,435	0,476	-0,390
	X_3'	1,0	-0,066	0,049
	X_5'		1,0	0,446
	X_6			1,0

$r_{critique} = 0,3646$ à P-value =80%.

D'après le Tableau 99, nous trouvons que les variables X_3' , X_5' sont plus corrélées avec Y que la variable X_6 . De plus, X_6 est significativement corrélée avec X_5' . Pour cela, X_6 ne sera plus inclus dans le modèle général.

D'après le Tableau 100, nous trouvons que le modèle est significatif à P-value=90% (la valeur critique $F = 2,86$) avec une valeur de F-Fisher égale à 3,52. Le modèle général présente 39% de données ($R^2 = 0,39$).

Tableau 100 : Récapitulatif du modèle 1- général

R ²	R ² ajusté	erreur standard de l'estimation	les statistiques			
			variation de F	ddl1	ddl2	Sig. variation de F
0,39	0,28	2,06	3,52	2	11	0,066

Les coefficients de régression et les constantes du modèle général sont présentés dans le Tableau 101.

Tableau 101 : Coefficient de régression du modèle 1- général

modèle générale	coefficients non standardisés		coefficients standardisés	t	Sig.
	B	écart standard	Bêta		
constantes	48,118	4,021		11,968	0,000
X_3'	-2,057	1,197	-0,405	-1,719	0,114
X_5'	0,547	0,287	0,449	1,905	0,083

D'après le test T Student dans le Tableau 101, nous constatons que tous les paramètres mécaniques sont significativement corrélés, avec un niveau de signification 10%, avec le bruit du frottement avec une influence de variation similaire (Bêta).

Le modèle général peut s'écrire comme suit :

$$Y = 48,118 - 2,057X_3' + 0,547X_5' \quad \text{Équation 43}$$

En reprenant les valeurs d'origine X_3 et X_5 le modèle 1 final s'écrit:

$$Y = 48,118 - 2,057 \left(\frac{1}{x_3 - 4} \right) + 0,547 \left(\frac{1}{x_5 - 0,20} \right) \quad \text{Équation 44}$$

Ce modèle général ressemble à celui établi pour la vitesse de course avec une différence pour les valeurs des constantes et les coefficients de régression. Ce modèle présente la relation linéaire entre la rugosité (X_3), l'énergie de compression (X_5) des armures en coton écru et les niveaux sonores des bruits de frottement (Y) quelle que soit l'activité de porteur du vêtement. Ce modèle est présenté dans la Figure 116.

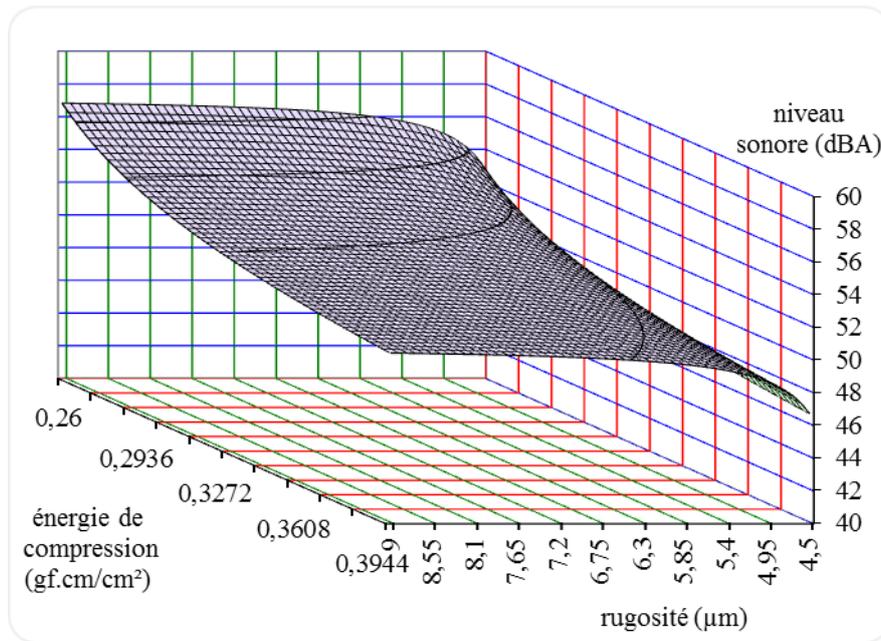


Figure 116 : Représentation du modèle 1 –général

D'après la Figure 116, nous constatons qu'à partir d'une rugosité égale à 5,4 µm le niveau sonore généré par le frottement des étoffes en coton écru augmente d'une manière linéaire en fonction de la rugosité de la surface textile. Le niveau sonore du bruit diminue d'une manière linéaire en fonction de l'énergie de compression à partir de 0,28 gf.cm/cm².

25 CORRELATION ENTRE LE NIVEAU SONORE ET LES DESCRIPTEURS SENSORIELS

Pour établir le modèle 2 qui exprime la relation entre les descripteurs sensoriels et le niveau sonore du bruit de frottement des armures en coton écru, seuls les descripteurs sensoriels significatifs pour la vitesse de marche et pour la vitesse de course vont être considérés.

25.1 CAS DE LA MARCHÉ

Comme dans le cas du modèle 1 nous avons choisi, dans un premier temps, un modèle de la forme linéaire :

$$Y = a + a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots$$

Avec Y : le niveau sonore, à la vitesse de marche, du bruit de frottement des armures en coton écru. Les valeurs de cette variable sont les niveaux sonores qui ont déjà été évalués par les panélistes.

Z_i : le descripteur sensoriel discriminant pour la vitesse de marche où :

Z_1 : *grave-aigu*

Z_2 : *lent-rapide*

Z_3 : *monotone-polyphonique*

Z_4 : *homogène-disharmonique*

Z_5 : *peinant-énergique*

Z_6 : *sourd-intensif*

Z_7 : *rythmé*

Z_8 : *grattage*

Z_9 : *sciage*

Z_{10} : *abrasif*

Z_{11} : *résonnant*

Les valeurs moyennes de ces descripteurs pour les deux reprises de l'évaluation auditive des étoffes sont présentées dans le Tableau 102.

Tableau 102 : Valeurs moyennes des descripteurs sensoriels discriminants - marche

descripteur armure	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	Z_{11}
chevron	4,75	6,30	3,97	3,85	6,02	4,03	5,99	5,19	5,67	5,87	3,50
crêpe	7,04	6,79	5,42	5,65	6,44	5,42	6,21	4,08	6,61	4,34	3,86
satin 4	4,74	5,76	4,19	3,80	5,88	3,33	6,12	3,85	4,98	5,23	4,09
satin5	3,92	5,45	3,76	4,02	5,16	3,43	5,50	4,26	5,25	5,11	4,00
sergé 3	5,85	2,64	5,10	5,35	2,27	4,15	4,11	5,06	7,04	4,89	3,51
sergé 4	4,40	7,41	5,48	4,55	7,28	4,69	6,81	3,57	6,99	4,27	3,48
toile	5,90	8,00	5,00	4,20	7,15	6,30	5,85	5,55	7,60	5,50	5,90

Le coefficient de corrélation entre ces descripteurs et le niveau sonore du bruit de frottement est présenté dans le Tableau 103. D'après le Tableau 103, nous trouvons que les descripteurs qui sont significativement corrélés, à P-value 80% avec une valeur critique $r = 0,55$, avec le niveau sonore du bruit de frottement sont les suivants : $Z_1, Z_3, Z_4, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9$.

Z_4 est significativement corrélé avec Z_1 et Z_3 , pour cela Z_4 ne sera pas inclus dans le modèle.

Z_6, Z_9 sont significativement corrélés entre eux et aussi avec Z_1, Z_3 . Pour cela, Z_6 et Z_9 ne seront pas inclus dans le modèle.

Z_7 et Z_8 sont significativement corrélés entre eux. Nous avons choisi Z_8 (*grattage*) même si Z_7 (*rythmé*) est un peu plus corrélé avec Y ($r = 0,593$) que Z_8 ($r = 0,569$) car le descripteur *grattant* est plus facile à discriminer par les panélistes.

Z_1 et Z_3 sont significativement corrélés entre eux. Nous avons retenu Z_3 car il est plus corrélé avec Y .

Par conséquent, Z_3 (*monotone-polyphonique*) et Z_8 (*grattage*) vont être inclus dans le modèle.

Tableau 103 : Coefficient de corrélation entre les descripteurs sensoriels et le niveau sonore- marche

		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁
Z ₁	coefficient de Pearson	1										
	Sig. (bilatérale)											
	N	7										
Z ₂	coefficient de Pearson	0,019	1									
	Sig. (bilatérale)	0,968										
	N	7	7									
Z ₃	coefficient de Pearson	0,636	0,180	1								
	Sig. (bilatérale)	,125	,700									
	N	7	7	7								
Z ₄	coefficient de Pearson	0,763*	-0,28	0,758*	1							
	Sig. (bilatérale)	0,046	0,531	0,048								
	N	7	7	7	7							
Z ₅	coefficient de Pearson	-0,06	0,986**	0,139	-0,33	1						
	Sig. (bilatérale)	0,898	0,000	0,767	0,469							
	N	7	7	7	7	7						
Z ₆	coefficient de Pearson	0,673	0,575	0,684	0,390	0,456	1					
	Sig. (bilatérale)	0,098	0,177	0,090	0,387	0,304						
	N	7	7	7	7	7	7					
Z ₇	coefficient de Pearson	-0,17	0,867*	0,111	-0,30	0,935**	0,203	1				
	Sig. (bilatérale)	0,705	0,012	0,812	0,509	0,002	0,663					
	N	7	7	7	7	7	7	7				
Z ₈	coefficient de Pearson	0,279	-0,12	-0,13	-0,07	-0,25	0,374	-0,57	1			
	Sig. (bilatérale)	0,544	0,801	0,773	0,875	0,584	0,408	0,225				
	N	7	7	7	7	7	7	7	7			
Z ₉	coefficient de Pearson	0,560	0,193	0,830*	0,554	0,077	0,841*	-0,11	0,370	1		
	Sig. (bilatérale)	0,191	0,678	0,021	0,197	0,869	0,018	0,805	0,414			
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
Z ₁₀	coefficient de Pearson	-0,26	-0,01	-0,71	-0,70	-0,04	-0,15	-0,20	0,697	-0,31	1	
	Sig. (bilatérale)	0,568	0,987	0,069	0,079	0,918	0,734	0,668	0,082	0,492		
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
Z ₁₁	coefficient de Pearson	0,243	0,492	0,051	-0,23	0,385	0,633	0,063	0,480	0,369	0,351	1
	Sig. (bilatérale)	0,600	0,262	0,914	0,605	0,394	0,127	0,892	0,276	0,415	0,440	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Y	coefficient de Pearson	0,561	-0,27	0,589	0,599	-0,40	0,564	-0,593	0,569	0,860*	-0,15	0,223
	Sig. (bilatérale)	0,252	0,549	0,164	0,155	0,365	0,187	0,160	0,182	0,013	0,737	0,630
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

*la corrélation est significative au niveau 0,05

**la corrélation est significative au niveau 0,1

La relation entre Z₃ (*monotone-polyphonique*) et Y (niveau sonore) est présentée dans la Figure 117. Les notes attribuées au descripteur *polyphonique* augmentent avec le niveau sonore du bruit. Cette relation peut être considérée comme linéaire ($r = \sqrt{0,3472} = 0,58$).

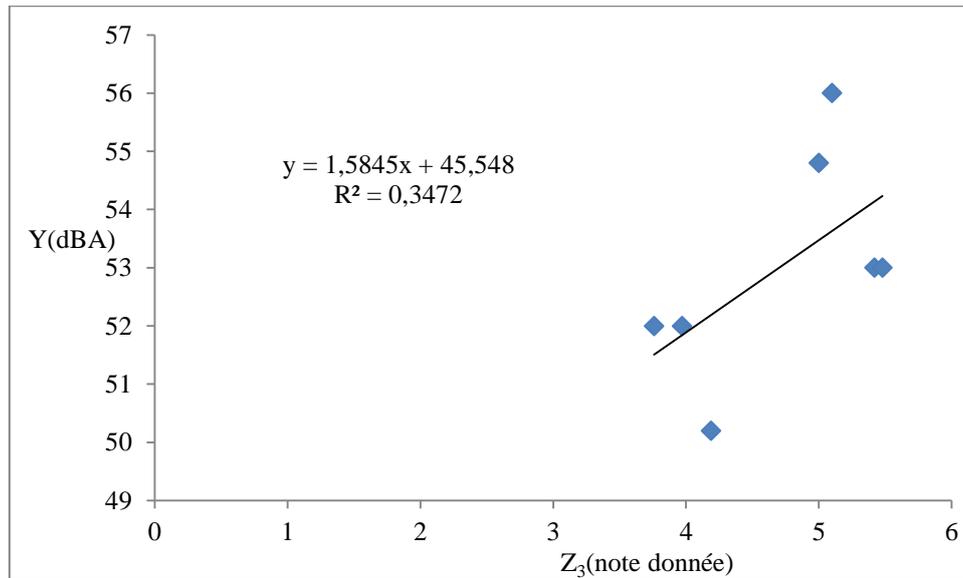


Figure 117 : Relation entre le descripteur monotone-polyphonique et le niveau sonore du bruit de frottement - marche

La relation entre Z_8 (*grattage*) et Y (niveau sonore) est présentée dans la Figure 118. Cette relation présente un maximum coefficient de corrélation ($r = \sqrt{0,3238} = 0,56$) en sa forme linéaire, donc il n'y a pas besoin de la transformer.

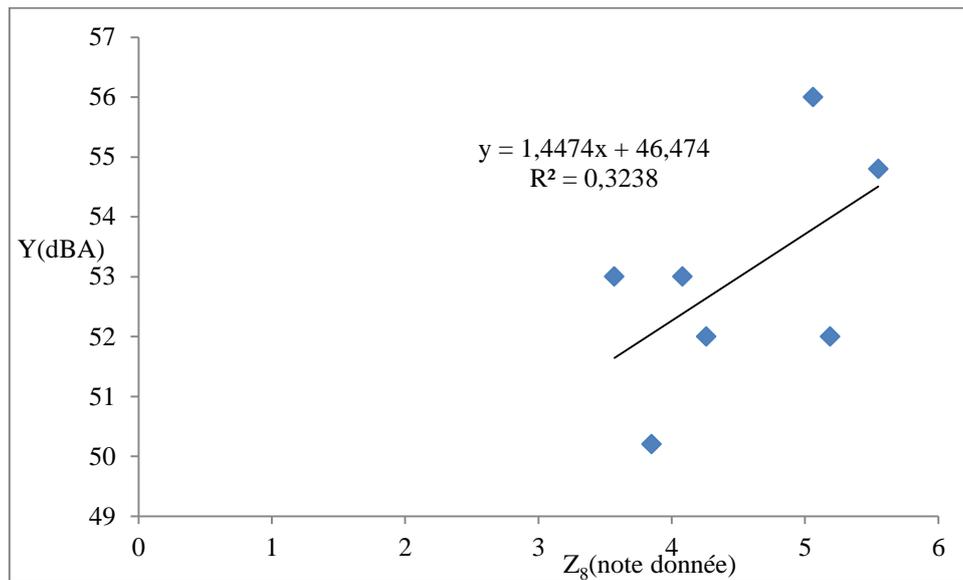


Figure 118 : Relation entre le descripteur grattage et le bruit de frottement – marche

Il a été procédé à une régression linéaire multiple entre Z_3 , Z_8 et Y . Les coefficients de régression et les constantes sont présentés dans le Tableau 104.

Tableau 104: Coefficient de régression du modèle 2 - marche

modèle	coefficients non standardisés		coefficients standardisés	T Student	Sig.
	B	écart standard	Bêta		
constantes	36,846	4,36		8,439	0,001
Z_3	1,824	0,64	0,68	2,838	0,047
Z_8	1,680	0,60	0,66	2,764	0,051

D'après le Tableau 104, nous constatons que la variation de niveau sonore du bruit provoque une influence similaire (valeur de Bêta) sur la sensation du descripteur Z_3 (*monotone - polyphonique*) et du descripteur Z_8 (*grattage*). Cette influence a un degré de signification similaire (T Student).

Le modèle peut s'écrire :

$$Y = 36,846 + 1,824 Z_3 + 1,680 Z_8 \quad \text{Équation 45}$$

Ce modèle présente $R^2 = 77,6\%$ des données et il est significatif à $P\text{-value} = 90\%$ avec $F_{\text{critique}} = 4,32$. La valeur de F- Fischer est de 6,91 comme cela est présenté dans le Tableau 105 .

Tableau 105 : Récapitulatif du modèle 1 - marche

R ²	R ² ajusté	erreur standard de l'estimation	les statistiques			
			variation de F	ddl1	ddl2	Sig. variation de F
0,776	0,663	1,11	6,91	2	4	0,070

Le modèle est présenté dans la Figure 119.

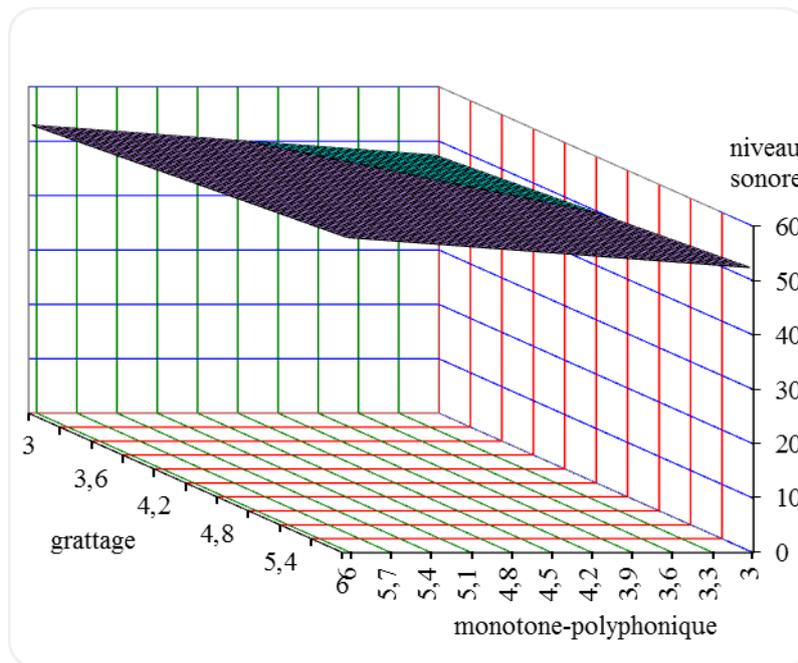


Figure 119 : Présentation du modèle 2 – marche

D'après la Figure 119 , plus le bruit est décrit plus polyphonique et plus grattant , plus le niveau sonore est important.

25.2 CAS DE LA COURSE

Les descripteurs discriminants, pour la vitesse de course, sont les mêmes que ceux pour la vitesse de marche, mais on compte deux descripteurs supplémentaires. Ces deux descripteurs sont : Z_{12} (*couinant*) et Z_{13} (*sifflant*). Les valeurs moyennes de ces descripteurs sont présentées dans le Tableau 106.

Tableau 106 : Valeurs moyennes des descripteurs sensoriels discriminants - course

descripteur	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}
armure													
chevron	5,33	7,25	4,47	3,67	6,82	4,87	6,36	5,21	6,08	5,48	4,24	3,73	4,24
crêpe	4,89	6,81	4,94	4,38	6,97	6,98	6,49	6,02	7,16	5,29	5,37	3,73	5,37
satin 4	5,6	7,03	4,19	3,78	6,03	3,6	6,03	4,36	6,4	4,73	3,47	3,75	3,47
satin5	4,52	7,87	4,63	4,52	7,47	5,34	6,88	4,65	6,26	5,75	5,23	4,28	5,23
sergé 3	5,93	7,06	6,02	6,62	6,61	7	6,75	4,96	6,36	4,71	5,74	3,64	5,74
sergé 4	8,15	8,32	4,96	3,86	8,13	5,86	7,3	3,41	6,49	3,84	4,72	5,23	4,72
toile	3,96	8,43	4,53	3,68	7,8	4,66	7,57	4,88	4,5	5,25	4,46	3,96	4,46

Les niveaux sonores (Y) sont les mêmes, pour la vitesse de course, que ceux qui ont déjà été évalués par les panélistes dans le chapitre précédent.

Le coefficient de corrélation entre le niveau sonore du bruit de frottement (Y) et les descripteurs sensoriels est présenté dans le Tableau 107. D'après ce tableau, nous trouvons que les descripteurs suivants: Z_3 , Z_4 , Z_6 et Z_{11} sont significativement corrélés, à P-value = 80% et une valeur critique $r = 0,55$, avec le niveau sonore du bruit de frottement.

Z_3 et Z_4 sont significativement corrélés ($r = 0,911$).

Z_3 et Z_6 sont significativement corrélés ($r = 0,838$).

Z_3 et Z_{11} sont significativement corrélés ($r = 0,812$).

Z_4 , Z_6 et Z_{11} sont significativement corrélés entre eux. Pour cela, ces trois descripteurs ne seront pas inclus dans le modèle. Seul, le descripteur Z_3 (*monotone-polyphonique*) va être inclus dans le modèle.

Tableau 107 : Coefficient de corrélation entre les descripteurs sensoriels et le niveau sonore du bruit de frottement - course

		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃
Z ₁	coefficient de Pearson	1												
	Sig. (bilatérale)													
	N	7												
Z ₂	coefficient de Pearson	0,112	1											
	Sig. (bilatérale)	0,812												
	N	7	7											
Z ₃	coefficient de Pearson	0,304	-0,193	1										
	Sig. (bilatérale)	0,507	,679											
	N	7	7	7										
Z ₄	coefficient de Pearson	0,070	-0,371	0,911*	1									
	Sig. (bilatérale)	0,882	0,413	0,004										
	N	7	7	7	7									
Z ₅	coefficient de Pearson	0,183	0,870*	0,016	-0,267	1								
	Sig. (bilatérale)	0,694	0,011	0,973	0,563									
	N	7	7	7	7	7								
Z ₆	coefficient de Pearson	0,206	-0,237	0,838*	0,676	0,187	1							
	Sig. (bilatérale)	0,657	0,608	0,019	0,096	0,688								
	N	7	7	7	7	7	7							
Z ₇	coefficient de Pearson	0,048	0,881*	0,192	-0,040	0,898*	0,178	1						
	Sig. (bilatérale)	0,919	0,009	0,680	0,931	0,006	0,703							
	N	7	7	7	7	7	7	7						
Z ₈	coefficient de Pearson	-0,687	-0,605	0,095	0,191	-0,371	0,347	-0,337	1					
	Sig. (bilatérale)	0,088	0,150	0,839	0,682	0,412	0,446	0,459						
	N	7	7	7	7	7	7	7	7					
Z ₉	coefficient de Pearson	0,434	-0,653	0,259	0,268	-0,352	0,474	-0,599	0,127	1				
	Sig. (bilatérale)	0,331	0,112	0,575	0,561	0,439	0,282	0,155	0,787					
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7				
Z ₁₀	coefficient de Pearson	-0,89*	-0,198	-0,299	-0,063	-0,169	-0,106	-0,187	0,702	-0,189	1			
	Sig. (bilatérale)	0,006	0,671	0,515	0,893	0,717	0,820	0,688	0,079	0,685				
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7			
Z ₁₁	coefficient de Pearson	-0,01	-0,08	0,812*	0,745	0,264	0,922*	0,306	0,329	0,288	0,117	1		
	Sig. (bilatérale)	0,977	0,857	0,026	0,055	0,567	0,003	0,504	0,471	0,531	0,803			
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
Z ₁₂	coefficient de Pearson	0,669	0,351	0,497	0,339	0,330	0,286	0,451	-0,66	0,08	-0,83*	0,232	1	
	Sig. (bilatérale)	0,100	0,441	0,256	0,457	0,470	0,534	0,309	0,105	0,856	0,020	0,617		
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
Z ₁₃	coefficient de Pearson	-0,01	-0,08	0,82*	0,745	0,264	0,922*	0,306	0,329	0,288	0,117	0,594	0,021	1
	Sig. (bilatérale)	0,977	0,857	,026	,055	0,567	0,003	0,504	0,471	0,531	0,803	0,159	0,965	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Y	coefficient de Pearson	-0,163	-0,124	0,792*	0,803*	-0,092	0,565	0,224	0,308	-0,243	0,087	0,603	0,108	-0,40
	Sig. (bilatérale)	,726	,792	,034	,030	,844	,237	,629	,501	,599	,854	,152	,818	,367
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

*la corrélation est significative au niveau 0,05

**la corrélation est significative au niveau 0,1

La relation entre Z_3 et Y est présentée dans la Figure 120. Cette relation est linéaire ($r = \sqrt{0,6266} = 0,79$).

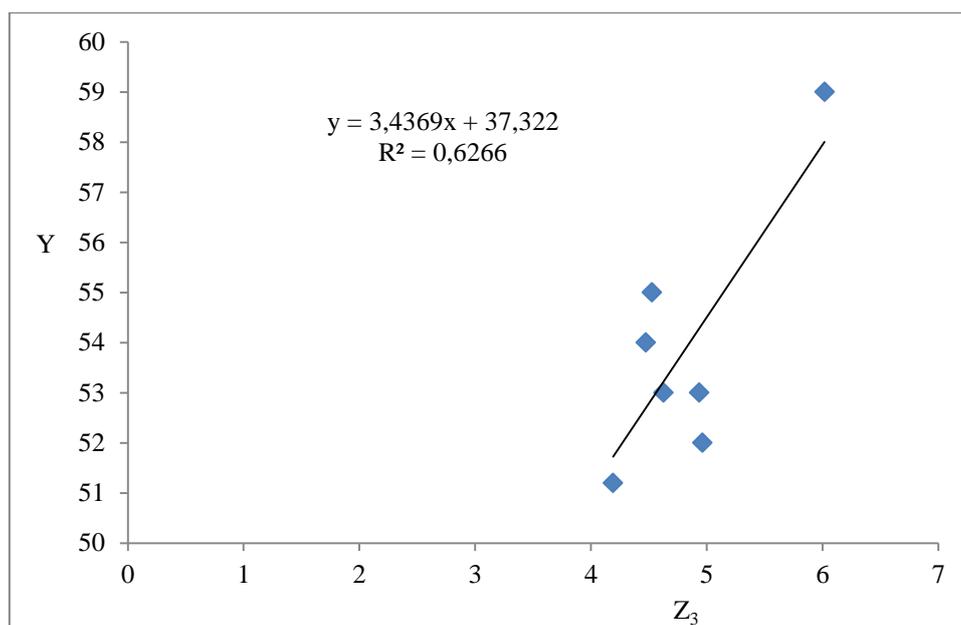


Figure 120 : Relation entre le descripteur monotone-polyphonique et le bruit de frottement – course
La régression linéaire entre Z_3 , Y est réalisée. Le coefficient de régression et les constantes sont présentés dans le Tableau 108.

Tableau 108 : Coefficient de régression du modèle 2- course

modèle	coefficients non standardisés		coefficients standardisés	T Student	Sig.
	B	écart standard	Bêta		
constantes	37,322	5,755		6,485	0,001
Z_3	3,437	1,187	0,792	2,897	0,034

D'après le Tableau 108, nous trouvons que le descripteur Z_3 (*monotone-polyphonique*) est significativement corrélé avec le niveau sonore du bruit (T Student est significatif à 95%) avec une valeur de Bêta importante.

Le modèle peut s'écrire :

$$Y = 37,322 + 3,437 Z_3 \quad \text{Équation 46}$$

Ce modèle présente 62,7% des données et il est significatif à P-value = 95% avec une valeur critique F = 6,61. La valeur F-Fischer = 8,39 comme cela est présenté dans le Tableau 109.

Tableau 109 : Récapitulatif du modèle 2 - course

R^2	R^2 ajusté	erreur standard de l'estimation	les statistiques			
			variation de F	ddl1	ddl2	Sig. variation de F
0,627	0,55	1,72	8,39	1	5	0,034

Ce modèle est représenté dans la Figure 121 qui décrit l'augmentation linéaire de la note donnée au descripteur *monotone-polyphonique* (de 4 à 6,5) quand le niveau sonore du bruit augmente (de 51 à 59 dBA), c'est-à-dire que les panélistes évaluent le bruit de frottement avec un niveau sonore important comme un bruit *polyphonique*. Ce modèle, présenté dans l'équation 46, est présenté dans la Figure 121.

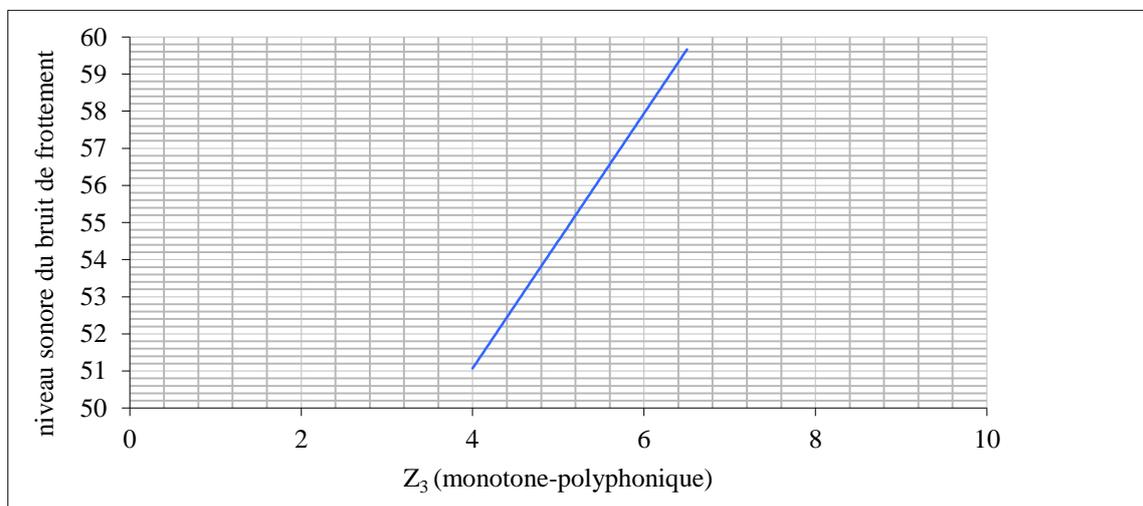


Figure 121 : Représentation du modèle 2 – course

- Pour établir le modèle général qui explique la relation entre le niveau sonore et les descripteurs sensoriels quelle que soit l'activité (marche ou course), nous avons pris les descripteurs inclus dans les deux modèles établis : Z_3 et Z_8 avec leurs valeurs à la marche et à la course ainsi les niveaux sonores enregistrés pour ces deux activités. La corrélation entre Z_3 , Z_8 et Y est significative pour à P-value = 95%, avec une valeur critique $r = 0,532$ comme cela est présenté dans le Tableau 110.

Tableau 110 : Coefficient de corrélation des variables du modèle 2 - général

variable	Z_3	Z_8
Y	0,679	0,626
Z3	1,0	-0,007
Z8	-0,007	1,0

Les coefficients de régressions et les constantes du modèle 2 général sont présentés dans le Tableau 111. D'après ce tableau, la sensation attribuée aux variables en fonction du bruit de frottement est significative.

Tableau 111 : Coefficient de régression du modèle 2- général

modèle	coefficients non standardisés		coefficients standardisés	T Student	Sig.
	B	écart standard	Bêta		
constante	33,259	2,495		13,3	0,0
Z_3	2,404	0,401	0,683	6,0	0,0
Z_8	1,938	0,350	0,630	5,5	0,0

Le modèle général peut s'écrire :

$$Y = 33,259 + 2,404 Z_3 + 1,938 Z_8 \quad \text{Équation 47}$$

Ce modèle explique que la description que le bruit est plus polyphonique et plus grattant est liée au niveau sonore plus important.

Ce modèle présente 85,5% des données et il est significatif à P-value 95%, avec une valeur critique $F= 3,98$.

Tableau 112 : Récapitulatif du modèle 2- général

R ²	R ² ajusté	erreur standard de l'estimation	les statistiques			
			variation de F	ddl1	ddl2	Sig. variation de F
0,858	0,832	0,914	33,129	2	11	0,000

Le modèle 2, général, est représenté dans la Figure 122 où on voit l'augmentation linéaire du niveau sonore avec les notes données aux descripteurs monotone-polyphonique et grattage.

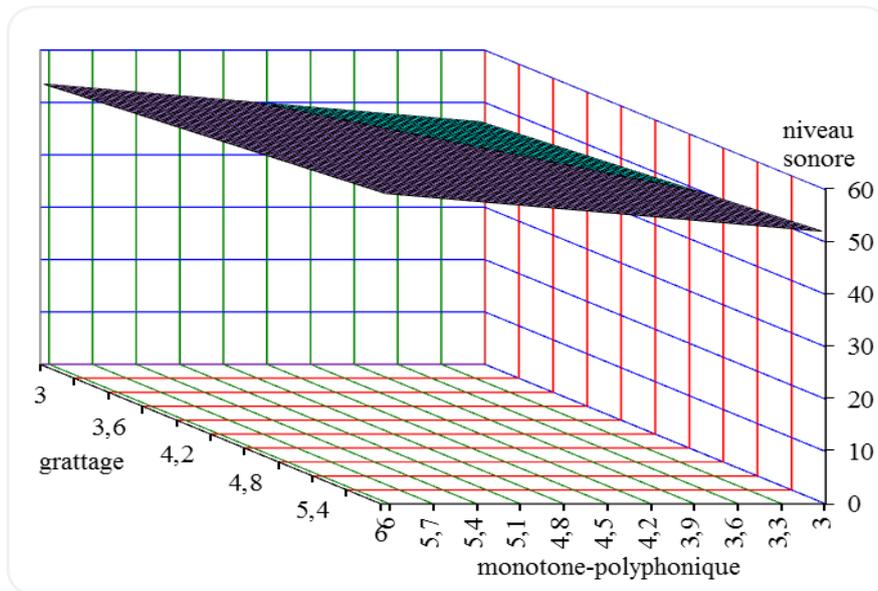


Figure 122 : Représentation du modèle 2- général

Le modèle 2 n'a pas été validé car nous avons besoin d'autres étoffes et d'autres panélistes qui sont déjà entraînés à utiliser la liste descriptive établie, mais qui ne participent pas à la caractérisation auditive des bruits de frottement des étoffes en coton écru.

26 DEVELOPPEMENT D'UN VETEMENT FURTIF

Dans le cadre du développement d'un vêtement furtif, nous allons évaluer le bruit de frottement d'une veste d'homme pour une application cynégétique ou sportive. L'évaluation auditive du bruit de frottement des étoffes sera effectuée en situation réelle (lors du porter du vêtement). La veste a été fabriquée selon deux prototypes présentant des variantes de montage pour les manches. Les caractérisations de l'étoffe de veste sont présentées dans le Tableau 113.

Tableau 113 : Caractéristiques de l'étoffe de la veste testée

matière première	armure	titre de fils de trame (Tex)	titre de fils de chaîne (Tex)	duitage (fils/cm)	comptage (fils /cm)	masse surfacique (g/m ²)
33% polyester 67% coton	satin 3	62,8	60	20	24	258

Il est bien à remarquer que le tissu, à partir duquel la veste est fabriquée, est conçu pour ce type d'application en observant que ce tissu est plus lourd que les tissus testés au cours de l'étude. L'armure du tissu (satin 3) est présentée dans la Figure 123.



Figure 123 : Armure de la veste fabriquée

Cette confection nous permettra de comparer l'influence de méthode de construction de la manche sur le bruit généré par le mouvement du bras. Les deux types de construction sont : manche montée et manche raglan.

Deux étapes vont être réalisées :

- Première étape : confection des vestes. Nous allons présenter la conception et la réalisation des deux prototypes.
- Deuxième étape : enregistrement et analyse du bruit de frottement des prototypes réalisés et portés par des volontaires.

La succession des tâches sont similaires pour les deux types de construction.

26.1 CONFECTION DE LA VESTE

La confection de la veste a été réalisée à l'aide du logiciel Modaris® de la société LECTRA. Les deux prototypes de la veste ont été confectionnés suite aux mesures correspondant à un volontaire de stature 1,78m avec un tour de poitrine de 100 cm (drop* = -6). Les mesures avec les aisances du patron de base sont présentées dans le Tableau 114. Les valeurs d'aisance ont été choisies en cohérence avec celles utilisées par la profession pour les vêtements de ce type.

Tableau 114 : Mesures du patron de base de la veste

mesure	brut (cm)	aisance (cm)	totale (cm)
tour de poitrine	100	4	104
tour de taille	88	2	100
tour de bassin	98,7	5,3	104
longueur taille dos	46	-	46
montant dos	23,5	2	25,5
carreau dos	41	2	43
carreau devant	40	2	42
longueur de bras	61,6	0,4	62
profondeur d'emmanchure	24	-	24
tour de cou	36	1	37
tour d'encolure	40	1	41
tour de poignet	17,5	5	22,5
longueur d'épaule	14,2	0,8	15
pente d'épaule	22,2°	-	22,2°

*drop = $\frac{1}{2}$ tour de taille - $\frac{1}{2}$ tour de poitrine

Les étapes de confection des deux prototypes de veste sont présentées dans les paragraphes suivants.

26.1.1 Cas de la veste avec la manche montée

La conception du prototype avec la manche montée a utilisé la méthode proposée par l'IFTH :

a) Construction du patron : cette étape comprend les phases suivantes :

- *Construire le devant et le dos en même temps*
- *Construire la manche montée*
- *Construire le col*

Le traçage de chaque partie du patron est détaillé dans *l'annexe 16*.

b) Extraire les pièces et ajouter les valeurs de couture

Toutes les lignes de référence ont été éliminées et nous avons gardé les lignes qui présentent les bords de chaque pièce. Nous avons choisi une seule taille, taille de 50 pour le design sans gradation. Nous avons ajouté les valeurs de couture de 1 cm pour les lignes droites et de 8 mm pour les courbes et la couture de côté.

Les pièces extraites sont présentées dans la Figure 124.

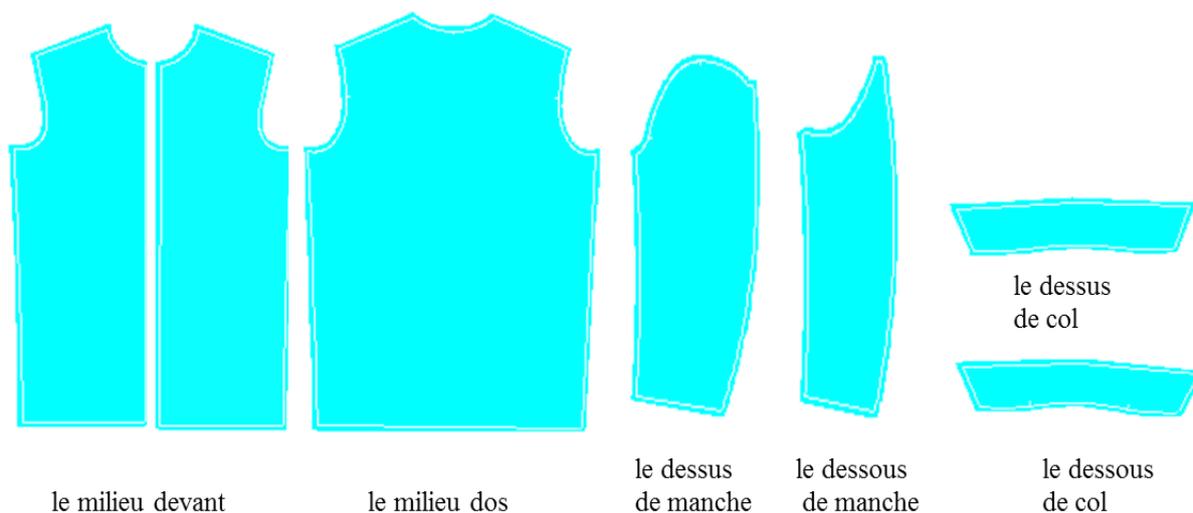


Figure 124 : Les pièces extraites de la veste avec des manches montées

- c) **Découpage et assemblage les pièces** : les pièces ont été placées d'une façon qui présente la moindre perte de l'étoffe (meilleure efficacité possible) à l'aide du logiciel Diamino® de la société LECTRA. Par la suite, nous avons effectué la découpe en utilisant la machine de découpe ProspinSTV2 Fashion. Les pièces découpées ont été surjetées avec un point de couture type 503 avant d'être assemblées sur une piqueuse plate, Durkopp, avec un point de couture type 301.

Le prototype final est présenté dans la Figure 126.

Avec les mêmes étapes suivies dans le cas de manche montée, nous avons confectionné un autre prototype de la veste avec une manche raglan.

26.1.2 Confection la veste avec une manche raglan

Le nouveau design avec la manche raglan s'est fait à partir du patron de base de la veste avec manche montée. La profondeur de l'emmanchure de la manche raglan est inférieure de 1 cm de celle-ci de la manche montée. Ceci enlève à la nouvelle manche un peu de tête de manche pour lui permettre d'être plus étoffée tout en gardant la même valeur d'embu. Les démarches de confection se trouvent dans *l'annexe 16*. Les pièces extraites sont présentées dans la Figure 125.

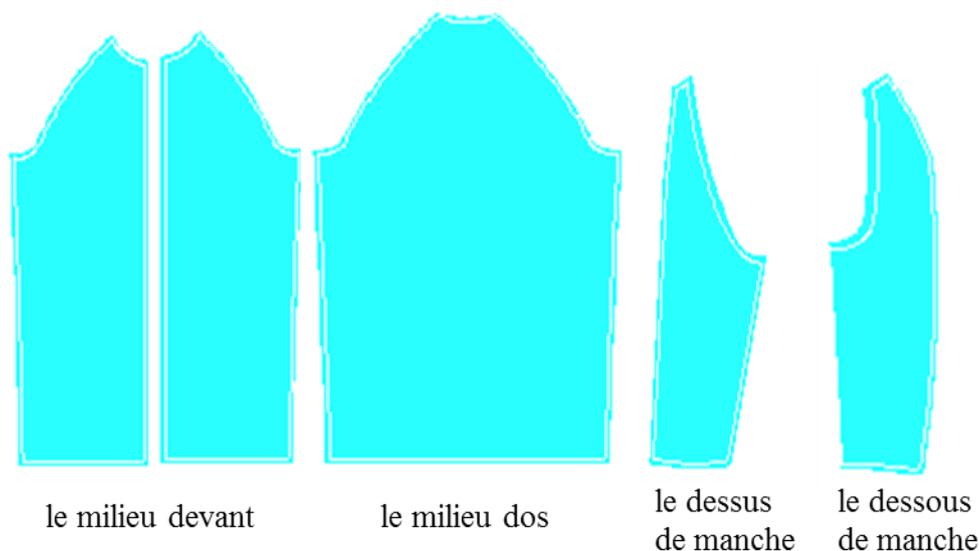


Figure 125 : Les pièces extraites de la veste avec des manches raglan

Les étapes suivantes concernant le découpage et l'assemblage ont été effectuées avec la même méthode expliquée précédemment. Le prototype final est présenté dans la Figure 126.



Figure 126 : Prototype finale de la veste: à gauche avec une manche montée et à droite avec une manche raglan

26.2 ENREGISTREMENT ET ANALYSE DU BRUIT DE FROTTEMENT DE LA VESTE

Le bruit de frottement de la veste, avec les deux types de manche, a été enregistré dans une chambre anéchoïque (391×362×242 cm³), se trouvant à l'IUT de Mulhouse. 10 volontaires (hommes) ont testé les deux vestes pour les deux vitesses de frottement. Les volontaires sont de différents âges (de 23 à 55 ans) et de différentes statures mais de taille correspondant à la veste confectionnée. Le mouvement du bras des volontaires a été pris identique à celui d'un volontaire en activité sportive

sur un tapis de course (avec une vitesse du tapis de course de 2 km/h pour la marche et de 9km/h pour la course).

A partir des signaux bruts nous avons pu calculer la fréquence de balancement du bras. En général, le signal transformé en S comporte 9 segments, pendant 2 secondes, pour la vitesse de marche et 12 segments pour la vitesse de course pour la même période (cf. Partie expérimentale- Chapitre 1, §18.3.2). Ceci nous a permis de calculer la fréquence de balancement du bras, pour la vitesse de marche, de 120 balancements/minute et pour la vitesse de course de 180 balancements/minute sachant qu'un aller et un retour représente un seul balancement. Les volontaires ont fait le test en respectant ces conditions du mouvement. Le balancement du bras a été réglé grâce à un métronome et les volontaires ont eu 10 secondes pour prendre le rythme avant l'enregistrement du bruit de frottement. Les volontaires restent sur place au moment du test en balançant le bras selon le rythme correspondant à l'activité. Le bruit de frottement de la veste a été enregistré pendant 20 secondes en utilisant la chaîne d'enregistrement présentée précédemment. Le microphone a été fixé à côté du volontaire qui est en mouvement à une distance de 20 cm. La Figure 127 présente un volontaire en faisant le test dans la chambre anéchoïque pour les deux prototypes de la veste confectionnée.

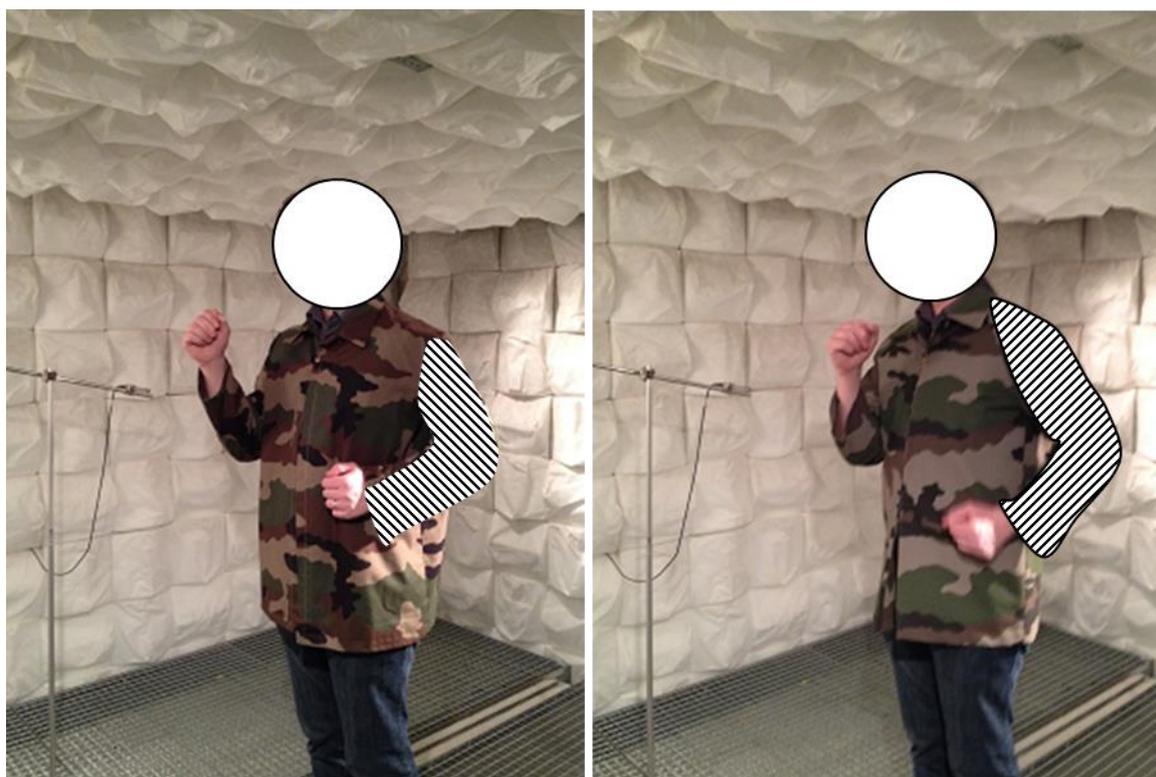


Figure 127 : Génération et enregistrement du bruit de la veste: à gauche avec une manche montée et à droite avec une manche raglan

Le niveau sonore moyen du bruit de frottement de la veste, pour les 10 tests et pour chaque vitesse du mouvement, est présenté dans le Tableau 115.

Tableau 115 : Niveau sonore global du bruit de frottement de la veste d'homme avec les deux types de manche

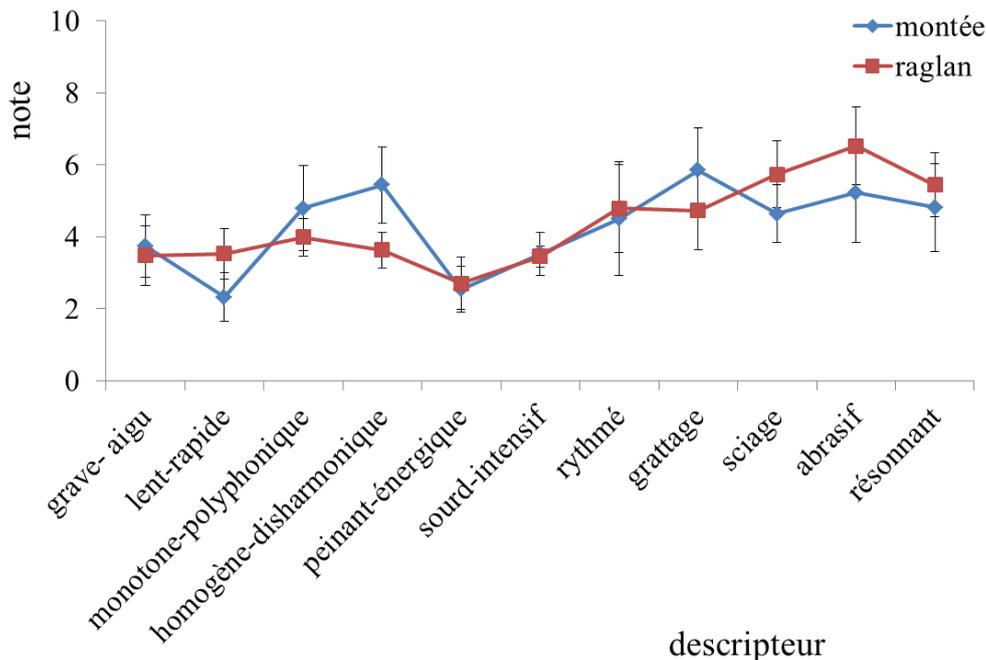
mesure	type de manche		type de manche	
	manche montée	manche raglan	manche montée	manche raglan
	marche	course	marche	course
niveau sonore global (dBA)	57	59,6	57,5	60
écart type	2	1,7	2,2	2,5

D'après le Tableau 115, nous constatons que le niveau sonore du bruit généré par le frottement de la veste est très similaire pour les deux types de manche. La manche raglan génère un bruit qui est légèrement supérieur à celui de la manche montée, mais cette différence est très faible (soit de l'ordre de 0,5 dBA), et n'est pas significative selon le test LSD (avec une valeur critique $t = 2,1$ à 5%) présenté dans le Tableau 116. Ceci est observé pour les deux vitesses de frottement.

Tableau 116 : Test LSD du niveau sonore des bruits générés par les deux types de manche

vitesse de frottement	marche	course
test LSD	-1,73	-1,65

Le profil sensoriel, établi par le groupe des panélistes qui a déjà créé la liste des descripteurs et entraîné à caractériser le bruit de frottement des étoffes en coton écru, des bruits générés par le frottement de la veste a été comparé pour les deux manches. Ces profils sont présentés dans la Figure 128 et la Figure 129.

**Figure 128 : Profil sensoriel du bruit de frottement de la veste- marche**

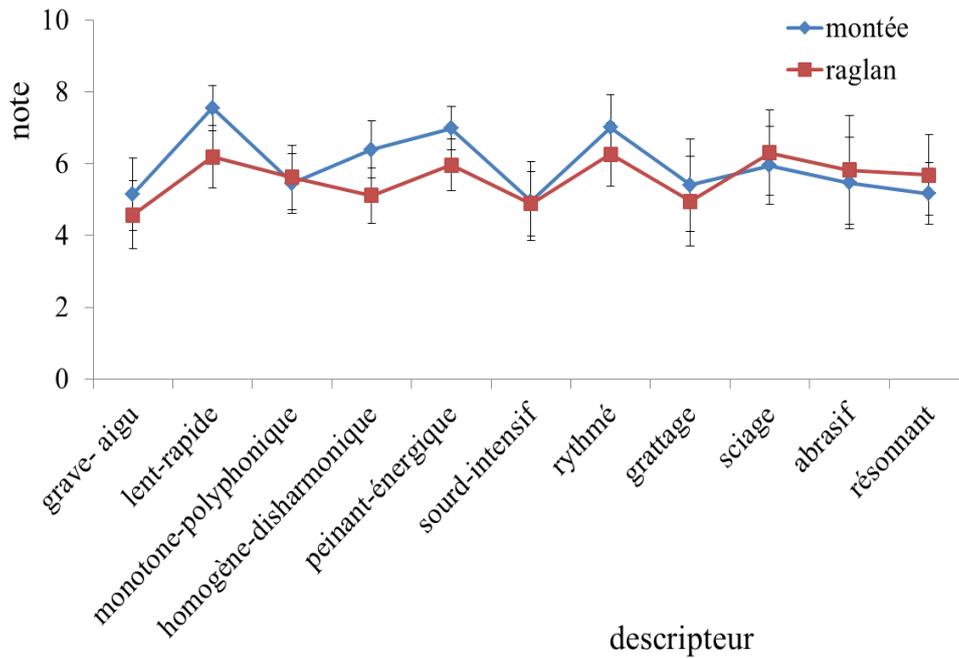


Figure 129 : Profil sensoriel du bruit de frottement de la veste- course

D'après les profils sensoriels, nous trouvons que les bruits générés par la veste, pour les deux types de manche, est perçu d'une manière relativement similaire. Le bruit généré par le frottement de la manche raglan est perçu plus *homogène*, plus *abrasif*, plus *sciage*, plus *résonnant* et moins *grattage* pour les deux vitesses de frottement. Le bruit généré par le frottement de la manche montée est plus *énergique* et plus *rapide* pour la vitesse de course.

27 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons proposé un modèle explicatif qui exprime la relation linéaire entre le niveau sonore global du bruit de frottement des armures en coton écru et certaines propriétés mécaniques (paramètres de l'état de surface et paramètres de compression) mesurées par la chaîne de mesure Kawabata Evaluation System. Le modèle établi, pour la vitesse de marche, exprime l'influence de la rugosité de la surface textile et la résilience de compression sur le niveau sonore des bruits de frottement des étoffes testées. Le niveau sonore augmente avec la rugosité et diminue avec la résilience de compression. Pour la vitesse de course, le modèle présente une relation linéaire entre la rugosité de surface et l'énergie de compression avec le niveau sonore du bruit. Le niveau sonore diminue quand l'énergie de compression augmente. Les modèles prédisent le niveau sonore avec un degré de confiance de 95% pour la vitesse de marche et de 90% pour la vitesse de course. Le modèle général qui représente cette relation quelle que soit l'activité (marche ou course) a également été établi. Le modèle général est significatif à P-value =90%.

Nous avons proposé également un modèle qui exprime une relation linéaire entre les descripteurs sensoriels et le niveau sonore global des bruits de frottement des armures en coton écru. Le modèle proposé pour la vitesse de marche explique la relation linéaire entre le niveau sonore et les descripteurs *monotone-polyphonique*, *grattage*. Plus le niveau sonore est important, plus la sensation que le bruit est *polyphonique* et *grattant* est important. Le modèle établi pour la vitesse de course présente une relation linéaire entre le niveau sonore et le descripteur *monotone-polyphonique*. Le modèle général est significatif à P-value 95%.

L'évaluation du bruit de frottement des étoffes a été effectuée en situation réelle. Le bruit d'une veste d'homme (avec deux types de manche : montée et raglan), pour une application cynégétique ou sportive, a été enregistré dans une chambre anéchoïque et évalué grâce à des panélistes entraînés. La mesure physique montre que les deux manches génèrent des bruits avec un niveau sonore très similaire pour les deux vitesses de frottement. Le test sensoriel montre que les bruits sont perçus d'une manière très similaire pour les deux vitesses de frottement. Le bruit de frottement de la manche raglan est décrit comme un bruit plus *homogène*, plus *abrasif*, plus *sciage*, plus *résonnant* et moins *grattage* pour les deux vitesses de frottement. Pour la vitesse de course, le bruit généré par le frottement de la manche montée est décrit comme un bruit plus *énergique* et plus *rapide*.

III. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

28 CONCLUSIONS GENERALES

Ce travail avait pour objectif de caractériser et analyser le bruit de frottement des étoffes textiles généré lors de l'activité d'un individu. Il se positionne comme une continuation d'un travail précédent mené au sein du laboratoire. Il nous a conduit à développer un vêtement 'furtif' pour une application cynégétique ou sportive.

Le présent travail apporte une contribution pour la caractérisation physique du bruit de frottement grâce à des paramètres physiques du son (bruit) et grâce à une nouvelle méthode de traitement du signal sonore des étoffes textiles, la transformée en S. L'évaluation sensorielle du bruit a été menée grâce à des panélistes entraînés en appliquant la méthode d'Analyse Descriptive Quantitative. Dans ce cadre, l'influence de l'armure d'étoffes en coton écru sur les propriétés sonores a été analysée. La corrélation entre les paramètres mécaniques des tissus qui décrivent l'état de surface et la compression de l'étoffe (mesurés par la chaîne de mesure Kawabata Evaluation System) et le niveau sonore global du bruit de frottement a été effectuée. La corrélation entre le niveau sonore et les descripteurs sensoriels a été également menée. Le bruit d'une veste d'homme, confectionnée en deux types de prototypes présentant des variantes de manches, a été analysé en situation réelle, dans une chambre anéchoïque.

L'étude bibliographique menée dans ce travail s'est répartie en trois chapitres. Le premier chapitre a mis en évidence l'influence de la vitesse de frottement, de la pression appliquée et de la rugosité de la surface textiles sur le bruit généré par le frottement de l'étoffe sur elle-même. Les études menées dans le cadre de la génération et de l'analyse du bruit de frottement des étoffes textiles ont été détaillées. Dans le deuxième chapitre, les paramètres physiques du son ont été identifiés ainsi que les méthodes de représentation du signal sonore. Le travail s'est concentré sur la représentation et la segmentation du signal sonore dans le domaine temps-fréquence. Une nouvelle méthode d'analyse du signal, 'transformée en S' proposée par Stokwell, a été détaillée pour une analyse plus fine. Dans le troisième chapitre, le mécanisme de la perception auditive de l'être humain et la sensibilité des oreilles aux bruits ont été expliqués. Enfin, le protocole de la méthode d'analyse sensorielle descriptive quantitative, le contrôle des performances des panélistes et les tests statistiques nécessaires ont été présentés.

Les essais expérimentaux et les résultats ont été présentés dans la deuxième partie. Dans le premier chapitre de cette partie, nous avons discuté les conditions de génération le bruit en prenant en compte la pression appliquée entre les échantillons textiles frottés. La génération du bruit de frottement des étoffes textiles a été réalisée grâce au dispositif, développé dans notre laboratoire au cours d'un travail de thèse précédent. Ce dispositif simule le balancement du bras lors d'activité

physique. La pression appliquée a été contrôlée grâce à un capteur de pression intégré au vêtement. Le bruit a été enregistré pendant 20 secondes.

Les propriétés sonores de 14 étoffes textiles commerciales (13 tissées et 1 non-tissée) ont été comparées pour les deux vitesses de frottement (la marche et la course) et pour les deux armures disponibles : la toile et le satin. Les propriétés sonores ont été identifiées grâce aux paramètres suivants : le niveau sonore global, la plage d'amplitude, la différence fréquentielle, l'amplitude du maximum du spectre sonore ainsi que la fréquence correspondante et la bande passante prise à la maximum amplitude moins 10 dB.

Selon le traitement des signaux sonores, les étoffes commerciales en polyamide et en polyamide/polyuréthane d'armure toile se sont révélées les plus bruyantes avec un niveau sonore significativement différent des autres étoffes. La plage d'amplitude et la différence fréquentielle de ces deux étoffes sont importantes et leurs bruits peuvent être décrits comme '*bourdonnement et chuchotement*'.

Il n'a pas été observé de différence significative entre les bruits des étoffes en coton et en polyester d'armure toile, pour les deux vitesses de frottement, tandis que le bruit de frottement de l'étoffe en soie (pour la même armure) est significativement différent des bruits pour la vitesse de course. Le niveau sonore du bruit de frottement de l'étoffe en soie est moins important avec une différence fréquentielle moins importante (1,48 kHz) ce qui rend le bruit de cette étoffe 'concentré'. Le bruit de frottement de l'étoffe en coton d'armure toile est plus homogène que celui des étoffes en polyester et en soie, pour la même armure, en raison d'une plage d'amplitude plus importante où l'énergie spectrale se répartit sur tout le spectre sonore.

Les bruits des armures en toile sont plus importants et plus agressifs que les bruits des armures en satin ; cette différence est significative pour la vitesse de course. Il n'y a pas de différence significative entre les bruits des étoffes en polyamide, coton et polyester d'armure satin, pour la vitesse de marche, alors que le bruit de l'étoffe en polyester est significativement différent pour la vitesse de course. Le bruit de l'étoffe en polyester d'armure satin 3 est moins important que celui des étoffes en coton et en polyamide pour la même armure.

L'étoffe en coton d'armure satin 5 présente, pour la vitesse de marche, une amplitude de maximum importante avec une fréquence correspondante (1,49 kHz) très perceptible par l'oreille humaine, ce qui rend le bruit de cette armure inconfortable. L'étoffe en coton d'armure satin 5 et l'étoffe en polyester d'armure satin 3 présentent une ressemblance spectrale pour les deux vitesses de frottement. La fréquence correspondant à l'amplitude de maximum du bruit de frottement de l'étoffe en polyamide d'armure satin 3 est plus importante (autour de 8 kHz) et moins perceptible.

Il n'y a pas de différence significative entre le niveau sonore du bruit généré pour les deux vitesses de frottement sauf pour l'étoffe en lin d'armure toile et l'étoffe en polyester d'armure satin 3.

Les étoffes gardent leur allure acoustique pour les deux vitesses de frottement mais cette allure acoustique est plus riche à la vitesse de course.

Nous avons étudié ensuite l'influence de l'armure sur les propriétés sonores d'un jeu d'étoffes en coton écru. Pour cette étude, 7 étoffes tissées en coton écru de même titre de fil (25 tex en trame, 14 tex en chaîne), de même indice de saturation (52%) mais avec des armures différentes ont été testées. Les armures testées sont : toile, chevron, satin 5, satin 4, sergé 3, sergé 4 et crêpe. Selon les résultats obtenus, chaque armure présente sa propre signature acoustique. La signature acoustique est plus riche pour la vitesse de course ce qui confirme les résultats obtenus avec les étoffes commerciales fabriquées dans de conditions industrielles différentes.

L'armure sergé 3 est la plus bruyante avec un niveau sonore, une amplitude du maximum les plus importants et une fréquence de maximum se trouvant dans la zone fréquentielle pour laquelle l'oreille humaine est la plus sensible. L'armure satin 4 est la plus 'furtive' avec un niveau sonore, une amplitude du maximum la moins importante et une fréquence correspondant importante et moins perceptible.

La plage d'amplitude de l'armure sergé 3 et l'armure sergé 4 est moins importante que celle des armures satin 4 et satin 5, ce qui rend les bruits du satin 4 et du satin 5 plus homogènes et plus monotones. La plage d'amplitude et la différence fréquentielle des bruits des armures diminuent pour la vitesse de course et les bruits deviennent plus concentrées et plus agressifs.

Selon les résultats obtenus par le traitement du signal sonore des armures, les spectres sonores des armures en sergé 3 et sergé 4 sont très fluctuants et les bruits peuvent être décrits comme des bruits disharmoniques et polyphoniques. Les spectres sonores de ces deux armures sont très similaires pour la vitesse de course.

Les armures chevron, satin 5, toile présentent des spectres sonores très similaires avec un pic plus perceptible (autour de 3 kHz) au profit de l'armure toile. L'armure satin 5 présente une bande passante plus large et le bruit est réparti sur tout le spectre ; le bruit peut être décrit comme plus monotone et plus homogène par comparaison avec le bruit de l'armure toile qui présente une différence fréquentielle moins importante (4,04kHz), pour la vitesse de course, et par la suite, le bruit de l'armure toile est plus concentré et plus agressif.

L'armure en crêpe présente un bruit de frottement avec une fréquence qui se trouve dans la zone fréquentielle pour laquelle l'oreille humaine est très sensible (1,78 kHz).

Dans ce contexte, nous avons appliqué une nouvelle méthode de traitement du signal ‘transformée en S’, pour traiter le signal sonore des armures en coton écru. L’application de cette méthode confirme que les signaux sonores des étoffes textiles sont non- stationnaires.

Selon cette méthode, la différence du contenu d’énergie entre deux segments successifs, pour un échantillon de 2 secondes, est plus importante dans le domaine temporel que dans le domaine fréquentiel. Les armures sergé 4 et satin 5 présentent une différence significative du contenu d’énergie entre les deux segments (aller et retour), dans le domaine temporel et dans le cas de la vitesse de marche, pour la première et la deuxième période respectivement. Pour l’armure satin 4, cette différence du contenu d’énergie entre ces deux segments successifs est significativement différente des autres armures, dans les deux domaines, pour la vitesse de course. Ceci peut être expliqué par la présence de fils flottants dans les structures de ces armures, ce qui rend les vibrations mécaniques moins stables et les ondes sonores générées contiendraient une énergie variable en fonction du temps de frottement.

L’armure toile présente une différence moins importante entre les deux segments (aller et retour). Ceci peut être dû à sa structure rigide et équilibrée.

La comparaison du contenu de l’énergie de plusieurs segments ‘aller’ et des plusieurs segments ‘retour’, pour des échantillons sonores pris toutes les 2 secondes, confirme que le spectre sonore des armures sergé 3 et sergé 4 est très fluctuant. Les armures chevron, satin 5, satin 4 présentent un contenu d’énergie entre les allers eux-mêmes et les retours eux-mêmes très similaire pour la vitesse de marche. Ce contenu, pour l’armure toile, est différent entre les segments d’aller et entre les segments de retour, ce qui rend le spectre sonore plus fluctuant par comparaison avec celui des armures satin et chevron. Le contenu d’énergie des différents segments successifs devient plus similaire avec le temps.

Dans le deuxième chapitre de la partie expérimentale, nous avons appliqué le protocole de la méthode de l’Analyse Descriptive Quantitative pour évaluer les bruits de frottement des étoffes textiles.

Onze panélistes ont été choisis. Leurs capacités auditives ont été validées grâce à un test audiogramme. Le travail individuel et par l’ensemble du groupe a permis aux panélistes d’établir une listes descriptive de 15 termes à partir de l’écoute des bruits de frottement de 14 étoffes de différentes matières premières. Les descripteurs établis sont : *grave-aigu*, *lent-rapide*, *monotone-polyphonique*, *homogène-disharmonique*, *peinant-énergique*, *sourd-intensif*, *rythmé*, *grattage*, *sciage*, *abrasif*, *grinçant*, *chuintant*, *couinant*, *sifflant* et *résonnant*. Les écoutes ont été faites dans des conditions identiques en utilisant un casque dans une salle isolante.

Les performances des panélistes (leur répétabilité, leur pouvoir de discrimination, l'homogénéité des réponses) ont été contrôlées pour toutes les conditions.

Les panélistes n'ont pas perçu, pour les deux vitesses de frottement, de différence significative entre les bruits des armures satin 5 et chevron. Le bruit de ces deux armures a été décrit comme un bruit *monotone* et *homogène*. Le bruit de l'armure satin 4 a été perçu d'une manière identique aux bruits des armures satin 5 et chevron pour la vitesse de marche, mais pour la vitesse de course, le bruit du satin 4 a été décrit comme un bruit plus *lent* et plus *sourd* avec une différence significative. L'armure toile présente un profil sensoriel très similaire à celui des armures chevron et satin 5 pour les deux vitesses de frottement. Mais, le bruit de l'armure toile a été décrit avec une différence significative, pour la vitesse de marche, comme un bruit plus *intensif*, plus *énergique*, plus *rapide*, plus *polyphonique*, plus *disharmonique*, le plus *sciage* et plus *rapide* et ainsi comme un bruit plus *grave* pour la vitesse de course.

Le bruit de l'armure sergé 3 a été décrit comme un bruit *disharmonique* pour les deux vitesses de frottement. Ainsi, ce bruit a été perçu d'une manière similaire au bruit de l'armure sergé 4 pour le descripteur *monotone-polyphonique* pour la vitesse de course.

Le bruit de l'armure crêpe a été perçu comme le bruit le plus *aigu* pour la vitesse de marche alors que c'est le bruit du sergé 4 qui a été décrit comme le plus *aigu* pour la vitesse de course.

Les panélistes ne trouvent pas de différence significative concernant la sensation auditive des bruits enregistrés pour la vitesse de marche et ceux qui ont été enregistrés pour la vitesse de course pour la plupart des armures testées.

Les panélistes qui souffrent d'une perte auditive perçoivent en général les bruits de frottement des étoffes textiles d'une manière identique aux panélistes d'une audition normale sauf pour le descripteur *grave-aigu*. Dans ce cas, les panélistes qui ont une faible sensibilité auditive pour les hautes fréquences, évaluent ce descripteur un peu différemment mais leurs réponses restent homogènes avec le groupe du panel. Les descripteurs sensoriels sont liés les uns aux autres par les panélistes entraînés. Les résultats obtenus par l'analyse sensorielle du signal sonore des étoffes confirment les résultats obtenus par le traitement du signal.

Dans le troisième chapitre de la partie expérimentale, nous avons proposé un modèle qui exprime la relation entre le niveau sonore global des bruits de frottement des armures en coton écru et certains paramètres mécaniques mesurés par la chaîne des mesures Kawabata Evaluation System. Le modèle cherché a été choisi de forme linéaire. Le modèle établi pour la vitesse de la marche présente une augmentation linéaire du niveau sonore du bruit de frottement en fonction de la rugosité de la surface textile et une diminution linéaire en fonction de la résilience de compression.

Pour la vitesse de course, le modèle exprime l'augmentation et la diminution du niveau sonore, d'une manière linéaire, en fonction de la rugosité et de l'énergie de compression de l'armure respectivement. Ces deux modèles ont été validés et permettent de prédire le niveau sonore, avec un degré de confiance de 95% pour la vitesse de marche et de 90% pour la vitesse de course.

Un modèle reliant l'évaluation auditive du bruit en fonction du niveau sonore a également été proposé pour les deux vitesses de frottement. Pour la vitesse de marche, le modèle montre que les évaluations du bruit comme *grattant* et *polyphonique* augmentent d'une manière linéaire en fonction du niveau sonore. Pour la vitesse de course, une relation linéaire est proposée entre le niveau sonore et le descripteur *monotone-polyphonique* à partir des notes données par les panélistes.

L'évaluation du bruit de frottement des étoffes textiles a été réalisée dans une situation réelle.

Ces résultats nous avons permis de valider les matériels et les méthodes pour caractériser le bruit de frottement d'une veste d'homme, pour une application cynégétique ou sportive, dans le cadre de développement d'un vêtement furtif. La veste, fabriquée à partir d'étoffe, 67% coton et 33% polyester d'armure satin 3, a été confectionnée avec deux types de manche (montée et raglan). Le bruit généré par le frottement de ces deux manches a été enregistré pour 10 volontaires dans une chambre anéchoïque. Les résultats obtenus montrent que le bruit généré par le frottement de la manche raglan est similaire à celui généré par le frottement de la manche montée et qu'il n'y a pas de différence significative entre les niveaux sonores. Les profils sensoriels des bruits de frottement des deux types de manche sont similaires pour les deux vitesses de frottement.

29 PERSPECTIVES

Pour poursuivre ce travail, plusieurs perspectives peuvent être envisagées. Tout d'abord, l'influence du titre des fils, de la torsion du fil, de la densité des fils (chaîne et trame) et de l'indice de saturation des étoffes devraient être étudiés pour mieux comprendre la contribution de ces paramètres sur les propriétés sonores des étoffes textiles.

Il serait également envisageable d'étudier l'influence des traitements de la surface textile sur le signal sonore de l'étoffe. Cela aidera à déterminer le type de traitement qui donne le moins de frottement et par la suite le moins de bruit généré.

La comparaison des propriétés sonores des étoffes tissées, tricotées et imperméables aidera à déterminer le type d'étoffe la plus furtive. Cela pourrait être réalisé pour des étoffes fabriquées à partir de différentes matières premières : naturelles, synthétique ou mixte.

En ce qui concerne le traitement du signal sonore, nous proposons d'enregistrer le bruit de frottement pour des périodes plus importantes. Cela nous permettrait d'étudier l'évolution de l'état de la surface textile, mise en frottement, à partir des propriétés sonores extraites. Dans ce contexte, nous proposons d'appliquer la méthode 'transformée en S' pour des échantillons sonores pris après 15 ou 30 minutes de frottement par exemple, dans le but d'étudier l'usure de la surface au fur et à mesure du frottement. L'énergie spectrale de différents segments du signal sonore pourrait être alors un indicateur de l'usure de la surface.

En ce qui concerne l'analyse sensorielle du signal sonore des étoffes textiles, une étude de consommateurs (sujets 'naïfs') pourrait être faite. Par la suite, une étude comparative avec les résultats obtenus par le panel entraîné pourrait s'avérer intéressante.

La validation du modèle qui exprime la relation entre les paramètres mécaniques et le niveau sonore des bruits de frottement, pourrait être poursuivie en prenant en compte une gamme plus importante d'étoffes en coton écru pour chaque armure. Ce modèle pourrait être étendu également pour des étoffes qui présentent d'autres conditions telles que des états de surface différentes en prenant compte des conditions d'usage différentes (environnement humide par exemple).

Il serait également intéressant d'établir des modèles qui expliquent les relations entre des paramètres mécaniques et des descripteurs sensoriels pour d'autres paramètres sonores du bruit de frottement tels que : la plage d'amplitude, la différence fréquentielle, etc.

Des modèles non linéaires pourraient également être proposés pour exprimer la relation entre les paramètres sonores des bruits de frottement des étoffes textiles et les paramètres mécaniques ainsi que la relation entre les paramètres sonores et les descripteurs sensoriels.

Enfin, il serait intéressant d'étudier le bruit de frottement généré par le mouvement des jambes, en prenant en compte les conditions réelles du mouvement des jambes, et en suivant les mêmes méthodes que celles choisies dans le cas de caractérisation du bruit généré par le mouvement de l'avant-bras. Cette étude comparative caractériserait le bruit de frottement du vêtement ; en indiquant d'où vient le bruit le plus important et le moins désirable.

REFERENCES

- [1] D. Weidmann, « *Aide-mémoire textiles technique* », Dunod, Paris, 2010.
- [2] L. Caramaro, « *Fibres et fils à usage technique* », Techniques Ingénieur, Lyon, 2005.
- [3] M. Sahb, « *La restructuration de l'industrie textile communautaire, le cotonnier et la production agro-industrielle en Afrique, le protectionnisme et le commerce textile international* » Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1987.
- [4] C. Hallet et A. Johnston, « *Mode : guide des textiles : Les fibres naturelles* », Eyrolles, Paris, 2010.
- [5] J. G. Cook, « *Handbook of textile fibers: natural fibers* », 1^{ère} édition, Woodhead Publishing, Cambridge, 1984.
- [6] J. Udale et C. Rasclé, « *Textile & mode* », Editions Pyramyd, Paris, 2009.
- [7] H. Latroch, « *Contribution au développement de nouveaux outils de caractérisation mécanique des étoffes, contribution à l'étude et à la caractérisation de la signature sonore du frottement des étoffes* », Thèse de doctorat, Université de Haut Alsace, Mulhouse, 2013.
- [8] ISO 8388, « *Étoffes à mailles - Types - Vocabulaire* », 1998.
- [9] ISO 9092, « *Textiles - Non-tissés - Définition* », 2011.
- [10] H. Duquesne, « *Le tissage et ses armures* », Éditions de l'Institut Textile de France, Boulogne-sur-Seine, 1976.
- [11] S. Ben Said, « *Contribution à l'évaluation par analyse sensorielle du toucher des étoffes, influence des paramètres de structure, interaction vue/toucher* », Thèse de doctorat, Université de Haut-Alsace, Mulhouse, 2007.
- [12] N. Gokarneshan, « *Fabric structure and design* », New Age International, India, 2004.
- [13] D. Goerner, « *Woven structure & design - Part 1 - Single cloth construction* », 1^{ère} édition. Leeds, WIRA Technology Group, 1986.
- [14] P. Schwartz, « *Structure and mechanics of textile fiber assemblies* », Woodhead publishing, Cambridge, 2008.
- [15] NF EN ISO 13934-1, « *Textiles - Propriétés des étoffes en traction - Partie 1 : détermination de la force maximale et de l'allongement à la force maximale par la méthode sur bande* », AFNOR, 2013.
- [16] NF EN ISO 13937-1, « *Textiles - Propriétés de déchirement des étoffes - Partie 1: détermination de la force de déchirure à l'aide de la méthode balistique au pendule* », AFNOR, 2000.
- [17] NF EN ISO 13937-2, « *Textiles - Propriétés de déchirement des étoffes - Partie 2: détermination de la force de déchirure des éprouvettes pantalons (Méthode de la déchirure unique)* », AFNOR, 2000.

- [18] NF G07-147, « *Essais des tissus - Détermination de la résistance au déchirement en force vive - Déchirure au clou* », AFNOR, 1981.
- [19] S. Kawabata et M. Niwa, « *Fabric performance in clothing and clothing manufacture* », *J. Text. Inst*, vol 80, no 1, p 19-50, 1989.
- [20] S. Kawabata et M. Niwa, « *Recent developments in the evaluation technology of fiber and textiles: Toward the engineered design of textile performance* », *J. Appl. Polym. Sci*, vol 83, no 3, p 687 - 702, 2002.
- [21] S. Kawabata, « *The standardization and analysis of hand evaluation* », *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 1980.
- [22] NF G07-150, « *Essais des étoffes. Détermination de la masse surfacique des tissus et des tricots* », AFNOR, 1984.
- [23] V. Sülar, E. Öner et A. Okur, « *Roughness and frictional properties of cotton and polyester woven fabrics* », *Indian J. Fibre Text. Res*, vol 38, p 349-356, 2013.
- [24] A. Das, V. K. Kothari et V. Nagaraju, « *Frictional characteristics of woven suiting and shirting fabrics* », *Indian J. Fibre Text. Res*, vol 32, p 337-343, 2007.
- [25] S. Nowrouzieh, A. Sinoimeri et J.Y. Drean, « *Inter fiber frictional Model* », *RJTA*, vol 11, no 4, 2007.
- [26] X. S. Zeng, V. B. C. Tan et V. P. W. Shim, « *Modelling inter-yarn friction in woven fabric armour* », *Int. J. Numer. Methods Eng*, vol 66, p1309-1330, 2006.
- [27] S. Dia, S. Fontaine et M. Renner, « *Using recurrence plots for determinism analysis of Blade-Disk tribometer* », *Exp. Tech*, vol 36, p 26-33, 2012.
- [28] J. C. Cooper, « *Acoustics and friction of apparel and model fabrics, and consumer perceptions of fabric sounds* », Thèse de doctorat, Université de Birmingham, Birmingham, 2013.
- [29] A. Das, V. K. Kothari, et N. Vandana, « *A study on frictional characteristics of woven fabrics* », *Autex Res. J*, vol 5, no 3, p 133-140, 2005.
- [30] B. S. Gupta et Y. E. El Mogahzy, « *Friction in fibrous materials part I: structural model* », *Text. Res. J*, vol 61, p 547-555, 1991.
- [31] S. S. Ramkumar, R. Rajanala, S. Parameswaran, R. Paige, A. Shaw, D. C. Shelly, T. A. Anderson, G. P. Cobb, R. Mahmud, C. Roedel, et R. W. Tock, « *Experimental verification of failure of Amontons' law in polymeric textiles* », *J. Appl. Polym. Sci*, vol 91, p 3879-3885, 2004.
- [32] W. Carr, J. Posey et W. Tincher, « *Frictional characteristics of apparel fabrics* », *Text. Res. J*, vol 58 (3), p 129-136, 1998.

- [33] D. Wilson, « *A Study of fabric-on-fabric dynamic friction* », *J. Text. Inst. Trans.*, vol 55, no 2, p T163-T164, 1964.
- [34] D. Hermann, S. S. Ramkumar, P. Seshaiyer et S. Parameswaran, « *Frictional study of woven fabrics: The relationship between the friction and velocity of testing* », *J. Appl. Polym. Sci.*, vol 92, no 4, p 2420-2424, 2004.
- [35] P. M. Taylor et D. M. Pollet, « *The Low-force frictional characteristics of fabrics against engineering surfaces* », *J. Text. Inst.*, vol 91, no 1, p 1-15, 2000.
- [36] S. S. Ramkumar, A. S. Umrani, D. C. Shelly, R. W. Tock, S. Parameswaran et M. L. Smith, « *Study of the effect of sliding velocity on the frictional properties of nonwoven fabric substrates* », *Wear*, vol 256, no 3-4, p 221-225, 2004.
- [37] T. Nishimatsu et T. Sawaki, « *Study on pile fabrics. Part III. Friction properties of pile fabrics* », *J. Text. Mach. Soc. Japan*, vol 30, p 67-71, 1984.
- [38] J. O. Ajayi, « *Fabric smoothness, friction, and handle* », *Text. Res. J.*, vol 62, no 1, p 52-59, 1992.
- [39] R. R. V. Amber, B. J. Lowe, B. E. Niven, R. M. Laing, C. A. Wilson, et S. Collie, « *The effect of fiber type, yarn structure and fabric structure on the frictional characteristics of sock fabrics* », *Text. Res. J.*, vol 85, p115-127, 2015.
- [40] T. Nishimatsu et T. Sawaki, « *Study on pile fabrics: Part 4: Investigation of factors affecting frictional properties of pile fabrics* », *J. Text. Eng.*, vol 30, p 100-106, 1984.
- [41] B. S. Gupta, « *Friction in textile materials* », Woodhead Publishing, Cambridge, 2008.
- [42] J. O. Ajayi, « *Effects of fabric structure on frictional properties* », *Text. Res. J.*, vol 62, p 87-93, 1992.
- [43] G. H. Thorndike et L. Varley, « *Measurement of the coefficient of friction between samples of the same cloth* », *J. Text. Inst. Proc.*, vol 52, p P255-P271, 1961.
- [44] M. H. M. T Kreer, « *On the tribology and rheology of polymer brushes in good solvent conditions: a molecular dynamics study* », *Wear*, vol 25425, 2003.
- [45] J. O. Ajayi et H. M. Elder, « *Effects of finishing treatments on fabric friction* », *J. Test. Eval.*, vol 23, p 55-58, 1995.
- [46] J. Ajayi et H. Elder, « *Resolution of the Stick-slip friction traces of fabrics* », *Journal of the Textile Institute*, vol 86, p 600-609, 1995.
- [47] D. P. Bishop, « *Fabrics : sensory and mechanical properties* », *Text. Prog.*, vol 26, p 1-62, 1996.

- [48] J. T. Walter et P. Veneklasen, « *The spectral distribution of sound produced by fibers and fabrics in friction Part I : Improved instrumentation* », *Text. Res. J*, vol 31, no 9, p 804-809, 1961.
- [49] J. T. Walter, « *The spectral distribution of sound produced by fibers and fabrics in friction Part II: Variations with fabric hand, fuzziness, wrinkledness, and textile mechanical and finishing processes* », *Text. Res. J*, vol 32, p 670-676, 1962.
- [50] M. Fujimoto, « *Measurement of rustling sounds of silk and polyester fabrics* », *Sen- Kikai Gakkaishi*, vol 39(10), p 371-377, 1986.
- [51] M. Fukuhara, « *Innovation in polyester fibers: from silk-silk to new polyester* », *Text. Res. J*, vol 63(1), p 387-391, 1993.
- [52] E. Yi et G. Cho, « *Fabric sound parameters and their relationship with mechanical properties* », *Text. Res. J*, vol 70, no 9, p 828-836, 2000.
- [53] C. Kim, G. Cho, H. Yoon et S. Park, « *Characteristics of rustling sounds created by the structure of polyester warp knitted fabrics* », *Text. Res. J*, vol 73, no 8, p 685-691, 2003.
- [54] G. Cho, N. Lim et Y. Yang, « *Integrated graphical presentation of fabric sound and mechanical properties* », *Fibers Polym*, vol 11, no 3, p 516-520, 2010.
- [55] E. YI, S. Cho et G. Cho, « *Physical factors affecting sound sensation for Korean traditional silk fabrics with similar sound pressure levels* », *Dep. Cloth. Text, Yonsie University*, vol 9, no 1, p39-48, 2006.
- [56] Y. Choi, C. Kim et G. Cho, « *Classification of apparel fabrics according to rustling sounds and their transformed colors* », *Proceeding of human factors and ergonomics society annual meeting*, vol 5, no 2, p 23-28, 2002.
- [57] G. Cho et M. Park, « *Frictional sound and its related mechanical properties of vapor permeable water repellent fabrics for active wear* », *Dep. Cloth. Text in Yonsie University, Korea*, 2008.
- [58] K. Yosouf et A. Shafi, « *Effect of stitch density on shear properties of embroidered metallic circuit and impact of pressures on sensor during movement* », 6th International Textile Clothing and Design Conference-Magic World of Textiles, p 424-429, Dubrovink, Croatia, 2012.
- [59] P. Guillaume, « *Musique et acoustique : de l'instrument à l'ordinateur* », Lavoisier, France, 2005.
- [60] C. H. Hansen, « *Fundamentals of acoustics* », Department of mechanical engineering, Australia, 2001.
- [61] D. Mercier, « *Le livre des techniques du son, tome 1 : Notions fondamentales* » 3^{ème} édition, Dunod, Paris, 2002.

- [62] NF S30-101, « *Vocabulaire de l'acoustique - Définition générale* », AFNOR, 1973.
- [63] NF S30-105, « *Vocabulaire de l'acoustique-Acoustique physiologique et psychoacoustique* », AFONR, 1975.
- [64] M. Alayrac, « *Indicateurs de gêne sonore pour l'étude d'impact du bruit d'un site industriel : caractérisation physique et perceptive* », Thèse de doctorat, Université de Claude Bernard, Lyon, 2009.
- [65] J.D. Bagot, « *Information, sensation et perception* », 1^{ère} édition, Armand Colin, Paris, 1996
- [66] A. S. Bregman, « *Auditory scene analysis* », Proceedings of the 7th International Conference on Pattern Recognition, p 168–175, Amsterdam, 1984.
- [67] E. F. Alton, « *Master handbook of acoustic* », 4^{ème} édition, McGraw-Hill, New York, 2001.
- [68] G. Pelé, « *Etudes sur la perception auditive* », Le Harmattan, Paris, 2012.
- [69] L. Schriver-Mazzuoli, « *Nuisances sonores : prévention, protection, réglementation* », Dunod, Paris, 2007.
- [70] NF EN ISO 1683, « *Acoustique-Valeurs de référence recommandées pour les niveaux acoustiques et vibratoire* », AFNOR, 2008.
- [71] J. Hassall et K. Zaveri, « *Acoustic noise measurements* », Bruel et Kjaer, 4^{ème} édition, 1979.
- [72] NF EN ISO 3746, « *Acoustique - Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique - Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant* », AFNOR, 2012.
- [73] « <http://www.antibruit.org/echelle.htm> », Consulté le 24/02/2015.
- [74] A. Goyé, « *La perception auditive* », Polycopié d'enseignement pour télécom, Paris, 2002.
- [75] B. Boashash, « *Time-frequency signal analysis and processing* », Signal processing research Queensland University of technology, Australia, 2003.
- [76] A. Boudier et E. Guibert, « *Cours acoustique, rôle de fréquence* », Ecole Supérieur des Arts et média, Marseille, 2007.
- [77] M. Val, « *Acoustique appliquée* », Dunod, Paris, 2002.
- [78] G. Pinson, « *Physique appliquée: en contrôle industriel et régulation automatique* », Limonest, 2003.
- [79] H. Hassanpour et M. Shahiri, « *Adaptive segmentation using wavelet transform* », International Conference on Electrical Engineering, p 1-5, Lahore, 2007.
- [80] H. Azami, K. Mohammadi et H. Hassanpour, « *An Improved signal segmentation method using genetic algorithm* », *International Journal of Computer Applications*, vol 29, p 5-9, 2011.

- [81] H. Azami, « *An improved signal segmentation using moving average and Savitzky-Golay filter* », *J. Signal Inf. Process.*, vol 3, no 1, p 39-44, 2012.
- [82] C. N. Gupta, R. Palaniappan, S. Swaminathan et S. M. Krishnan, « *Neural network classification of homomorphic segmented heart sounds* », *Appl. Soft Comput.*, vol 7, p 286-297, 2007.
- [83] J. Zhong et F. Wang, « *Study on segmentation for heart sound signal with reused multi-scale wavelet transform and threshold value adjustment* », International Conference on Electronics and Electrical Engineering, DEStech Publications, USA, 2014.
- [84] S. M. Anisheh et H. Hassanpour, « *Adaptive segmentation with optimal window length scheme using fractal dimension and wavelet transform* », *Int. J. Eng - Trans. B Appl.*, vol 22, p 257, 2009.
- [85] H. Liang, S. Lukkarinen, et I. Hartimo, « *A boundary modification method for heart sound segmentation algorithm* », *Computers in Cardiology*, p. 593-595, 1998.
- [86] S. Ari, P. Kumar, et G. Saha, « *On an algorithm for boundary estimation of commonly occurring heart valve diseases in time domain* », Annual IEEE India Conference, p 1-5, 2006.
- [87] A. Moukadem, « *Segmentation et classification des signaux non-stationnaires. Application au traitement des sons cardiaques et à l'aide au diagnostic* », Thèse de doctorat, Université de Haut-Alsace, Mulhouse, 2012.
- [88] S. Choi et Z. Jiang, « *Comparaison of envelope extraction algorithms for cardiac sound signal segmentation* », *Expert Syst Appl.*, vol 34, p 1056–1069, 2008.
- [89] C. Samjin et Z. Jiang, « *Comparison of envelope extraction algorithms for cardiac sound signal segmentation, Micro Mechatronics Laboratory* », *Expert System With Application*, no 34, vol 2, p 1056-1069, 2008.
- [90] K. Fahy, « *Fast Fourier Transforms and power spectra in LabVIEW* », National Instruments Corporation, 1993.
- [91] G. Nithin, « *S Transform; time frequency analysis & filtering* », Thèse de doctorat, Department of electronics and communication engineering national institute of technology, India, 2009.
- [92] R. G. Stockwell, « *Why use the S-transform* », *Fields institute communication*, vol 52, p 279–309, 2007.
- [93] J. Dumas et B. Bennevault, « *Analyse du signal (FFT et Filtrage numérique) & Analyse des systèmes* », Document réalisé à Limonest, 2001.
- [94] E. O. Brigham, « *The fast Fourier transform* », Prentice-Hall, USA, 1974.

- [95] Q. Ni et M. Iwamoto, « *Wavelet transform of acoustic emission signals in failure of model composites* », *Eng. Fract. Mech.*, vol 69, no6, p 717–728, 2002.
- [96] S. Ventosa, C. Simon, M. Schimmel, J. J. Danobeitia et A. Manuel, « *The S-Transform from a wavelet point of view* », *IEEE Trans. Signal Process.*, vol 56, p 2771–2780, 2008.
- [97] A. Moukadem, D. O. Abdeslam, et A. Dieterlen, « *Time-Frequency domain for segmentation and classification of Non-stationary signals: The Stockwell transform applied on Bio-signals and electric signals* », John Wiley & Sons, 2014.
- [98] E. Sejdić, I. Djurović et J. Jiang, « *Time–frequency feature representation using energy concentration: An overview of recent advances* », *Digit Signal Process.*, vol 19, p 153–183, 2009.
- [99] K. Gröchenig, « *Foundations of Time-Frequency analysis* », Birkhäuser, Boston, 2001.
- [100] A. R. Oskouei, « *Wavelet-based acoustic emission characterization of damage mechanism in composite materials under mode I delamination at different interfaces* », *EXPRESS Polym. Lett.*, vol 3, p 804–813, 2009.
- [101] C. Y. Mei, A. Z. Sha’ameri, et B. Boashash, « *Efficient phase estimation for the classification of digitally phase modulated signals using the cross-WVD: a performance evaluation and comparison with the S-transform* », *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol 2012, p1–22, 2012.
- [102] L. Yun, X. Xiaochun, L. Bin, et P. Jinfeng, « *Time-frequency analysis based on the S-transform* », *Int. J. Signal Process.*, vol 6, p 245–254, 2013.
- [103] J. P. Agrawal et R. Vijay, « *Time-Frequency Filtering with the S-Transform of ECG Signals* », *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol 3, 2013.
- [104] R. Stockwell, L. Mansinha, R. Lowe, « *Localization of the complex spectrum: The S Transform* », *IEEE Transactions on Signal Processing.*, p 998–1001, 1996.
- [105] C.C. Huang, S. Liang, M. Young et F. Shaw, « *A novel application of the S-transform in removing powerline interference from biomedical signals* », *Physiol. Meas.*, vol 30, p 13–27, 2009.
- [106] R. G. Stockwell, « *S-Transform Analysis of Gravity Wave Activity from a Small Scale Network of Airglow Imagers* », Phd thesis, University of Western Ontario, 1999.
- [107] P. K. Dash, K. B. Panigrahi, D. K. Sahoo et G. Panda, « *Power quality disturbance data compression, detection, and classification using integrated spline wavelet and S-transform* », *IEEE Trans.Signal Process.*, vol 18, no 2, p 595–600, 2003.
- [108] A. Janssen, « *Optimality property of the Gaussian window spectrogram* », *IEEE Trans. Signal Process.*, vol 39, no 1, p 202–204, 1991.

- [109] I. Daubechies, « *The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis* », *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol 36, no 5, p 961 - 1005, 1990.
- [110] R. A. Eramian, « *Generation of aquifer heterogeneity maps using Two-Dimensional spectral texture segmentation techniques* », Department of Earth Sciences, Biological and Geological Sciences Building, London, 1999.
- [111] S. Assous et L. Humeau, « *S-transform applied to laser doppler flowmetry reactive hyperemia signals* », *IEEE Trans.Eng*, p1032-1037, 2006.
- [112] B. Samantaray, « *Power transformer protection using S-transform with complex window and pattern recognition approach* », *Gener. Transm. Amp Distrib. IET*, no 2, p 278 - 286, 2007.
- [113] K. Baker, « *Singular value decomposition tutorial* », Document disponible sur le site: https://www.ling.ohio-state.edu/~kbaker/pubs/Singular_Value_Decomposition_Tutorial.pdf
- [114] S. Assous, « *Analyse temps-fréquence par la transformée en S et interprétation des signaux de fluxmétrie laser doppler: applications au diagnostic clinique* », Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieur d'Art et Métiers, Paris, 2005.
- [115] N. M. Marinovic et G. Eichmann, « *Feature extraction and pattern classification in space - spatial frequency domain* », *Proceeding of Intelligent Robots and Computer Vision 4*, vol 0579, p19-26, Cambridge, 1985.
- [116] H. Hassanpour, M. Mesbah, et B. Boashash, « *Time-Frequency feature extraction of newborn EEG seizure using SVD-Based techniques* », *EURASIP J. Adv. Signal Process*, no 16, p 898124, 2004.
- [117] H. Hassanpour, M. Mesbah, et B. Boashash, « *Time-frequency based newborn EEG seizure detection using low and high frequency signatures* », *Institute of physics publishing, physiological measurement*, 25^{ème} édition, p 935–944, Australia, 2004.
- [118] G. Nakos et D. Joyner, « *Linear algebra with applications* », Brooks Cole Publ. Co, USA 1998.
- [119] D. Groutage et D. Bennink, « *A new matrix decomposition based on optimum transformation of the singular value decomposition basis sets yields principal features of time frequency distributions* », 10th IEEE Workshop on Statistical Signal and Array Processing , p 598–602, USA, 2000.
- [120] V. Venkatachalam et J. Aravena, « *Nonstationary signal classification using pseudo power signatures: The matrix SVD approach* », *IEEE Trans. on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, vol 46, no 12, p 1497–1505, 1999.
- [121] NF S31-010, « *Caractérisation et mesure des bruits de l'environnement- méthodes particulières de mesure* », AFNOR, 1996.

- [122] Jeulin-Support technique, « *Acoustique, étude des sons, banc d'essai 3 parleurs* », Document de version 0109, Ref 292081.
- [123] A. Giboreau, « *De l'analyse sensorielle au jugement perceptif: l'exemple du toucher* », Thèse de doctorat, Université de Claude Bernard, Lyon 1, 2009.
- [124] F. Depledt et SSHA, « *Evaluation sensorielle: manuel méthodologique* », Tec&Doc Lavoisier, Paris, 1998.
- [125] C. Tavris et C. Wade, « *Introduction à la psychologie: les grandes perspectives* », De Boeck Supérieur, Paris, 1999.
- [126] I. Urdapilleta, C. Ton Nu et C. Saint Denis, « *Traité d'évaluation sensorielle: aspects cognitifs et métrologiques des perceptions* », Dunod, Paris, 2001.
- [127] R. B. Livingston, « *Sensory Processing, Perception, and Behavior* », Raven Press, 1978.
- [128] A. Moles, « *Théorie de l'information et perception esthétique* », Flammarion, 1992.
- [129] BP X10-043, « *Caractérisation sensorielle des matériaux - Recommandation pratiques pour l'analyse acoustique* », AFNOR, 2009.
- [130] H. Fastl et E. Zwicker, « *Psychoacoustics: facts and models* », 2^{ème} édition, Springer, USA, 2007.
- [131] J. O. Pickles, « *An introduction to the physiology of hearing* », 3^{ème} édition, Academic Press, UK, 2008.
- [132] B. Moore, « *An Introduction to the Psychology of Hearing* », 5^{ème} édition, Academic Press, Boston, 2003.
- [133] F. Guyot, « *Etude et perception sonore en termes de reconnaissance et appréciation qualitative: une approche par catégorisation* », Thèse de doctorat, Université de Maine, 1996.
- [134] S. Nicolas et L. Ferrand, « *La psychologie moderne: Textes fondateurs du XIXe siècle avec commentaires* », De Boeck Supérieur, Bruxelles, 2003.
- [135] M. C. Voget, « *Etude sémiotique et acoustique de l'identification des signaux sonores d'avertissement en contexte urbain* », Thèse de doctorat, Université de Paris 6, 1999.
- [136] J. Tobias, « *Foundations of modern auditory theory* », Academic Press, London, 1970.
- [137] H. Fletcher et W. A. Munson, « *Loudness, its definition, measurement and calculation* », *Bell Syst. Tech. J.*, vol 12, no 4, p 377-430, 1933.
- [138] J. Eargle, « *Electroacoustical Reference Data* », Springer Science & Business Media, New York, 1994.
- [139] S. Stevens, « *On the psychophysical law* », *Psychol. Rev*, vol 64, no 3, p 153-181, 1957.
- [140] E. Zwicker et R. Feldtkeller, « *Psychoacoustique: l'oreille, récepteur d'information* », Masson, Paris, 1981.

- [141] H. Fletcher, « *The ear as a measuring instrument* », *J. Audio Eng. Soc.*, vol 17, no 5, p 532-534, 1969.
- [142] M. C. Botte, « *Psychoacoustique et perception auditive* », INSERM, 1989.
- [143] M. Castellengo, « *La perception auditive des sons musicaux, Psychologie de la musique* ». Presses Universitaires de France, Paris, 1994.
- [144] A. Goudot, « *Les organes des sens: codage des informations sensorielles* ». Presses Universitaires de France, Paris, 1973.
- [145] H. Helmholtz, « *Théorie physiologique de la musique: Fondée sur l'étude des sensations auditives* », Masson, Paris, 1868.
- [146] O. Houix, S. McAdams et R. Causse, « *Structures vibrantes et catégorisation auditive* », 5^{ème} Congrès Français d'Acoustique, p 437-440, Lausanne, 2000.
- [147] J. M. Grey, « *Multidimensional perceptual scaling of musical timbres* », *J. Acoust. Soc. Am.*, vol 61, no 5, p1270–1277, 1977.
- [148] J. D. Carroll et J. Chang, « *Analysis of individual differences in multidimensional scaling via an n-way generalization of "Eckart-Young" decomposition* », *Psychometrika*, vol 35, no 3, p 283-319, 1970.
- [149] O. Moravec et J. Stepanek, « *Verbal descriptions of musical sound timbre and musician's opinion of their usage* », *Fortschritte Akust.*, vol 31, no 1, p 231, 2005.
- [150] G. Bismarck, « *Timbre of steady sounds: A factorial investigation of its verbal attributes* », *Acustica*, vol 30, p 146-59, 1974.
- [151] C. Marquis-Favre, J. Faure et F. Sgard, « *Evaluations physique et subjective de l'influence de paramètres structuraux pour une plaque rayonnante* », *Proceeding of the First European Forum*, p 241–51, Vaulx-en Velin, 2001.
- [152] D. W. Marshall, « *Food choice and the consumer* », Blackie Academic & Professional, UK, 1995.
- [153] J. P. Deschamps, « *Product juggernauts: How companies mobilize to generate a stream of market winners* », Harvard Business Press, Boston, 1995.
- [154] S. Kemp, T. Hollowood et J. Hort, « *Sensory evaluation: A practical Handbook* », John Wiley & Sons, UK, 2011.
- [155] H. T. Lawless et H. Heymann, « *Sensory evaluation of food: principles and practices* », Kluwer Academic/Plenum Publishers, Boston, 1999.
- [156] NF EN ISO 5492, « *Analyse sensorielle vocabulaire* », AFNOR, 2009.
- [157] Anonymous, « *Minutes of division business meeting* », Institute of food technologists-Sensory evaluation division, IFT, Chicago, 1975..

- [158] F. Depledt, « *Évaluation sensorielle – Manuel méthodologique* », 3^{ème} édition, Lavoisier, Paris 2009.
- [159] D. Richard et D. Orsal, « *Neurophysiologie: organisation et fonctionnement du système nerveux* », Dunod, Paris, 2007.
- [160] P. Mounoud et J.P. Bronckart, « *Système nerveux et fonction d'organisation* », Encyclopédie de la pléiade, Paris, 1986.
- [161] F. Depledt et F. Sauvageot, « *Evaluation sensorielle des produits alimentaires* », Tech. Ing. Agroaliment, Ref F4000, 2002.
- [162] L. Gilbert, « *Caractérisation physico-chimique et sensorielle d'ingrédients cosmétiques: une approche méthodologique* », Thèse de doctorat, Université de Havre, 2014.
- [163] D. R. Béatrice, « *Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires* », 4^{ème} édition, Lavoisier, Paris, 2009.
- [164] J. Bassereau, « *Le petit livre du toucher et d'autres sensations pour découvrir notre appareil perceptif et le monde qui nous entoure* », ENSAM, Paris, 2001.
- [165] J. Bassereau, « *Micropsychologie et bilan sensoriel en conception de produits* », ENSAM Paris, 1998.
- [166] M. A. Amerine, R. M. Pangborn et E. B. Roessler, « *Principles of sensory evaluation of food* », Academic Press, 1965.
- [167] J. Piggott, « *Alcoholic beverages: Sensory evaluation and consumer research* », Woodhead Publishing, Cambridge, 2012.
- [168] J. Le Magnen, « *Méthodes subjectives et objectives d'appréciations des caractères organoleptiques des derees alimentaires* », Les journée scientifiques du centre national de coordination des études, Paris, 1966.
- [169] Y. Ragot, « *La conception et la mise en place d'un outil d'aide à la communication et à la conception des finitions de surfaces* », Mémoire DEA, ENSAM, Paris, 1997.
- [170] Direction générale des stratégies Brime Technologies, « *L'ingénierie centrée sur l'homme: ou la prise en compte des facteurs humains dès les premières phases de la conception* », Rapport de la Ministère de l'industrie, de la Poste et des télécommunications, France, 1997.
- [171] L. Dandrel, « *La ville écoute résonnance - Dans I. Urdapilleta et all : traité d'évaluation sensorielle, paris 2001* », Paris, 1992.
- [172] H. Stone et J. L. Sidel, « *Sensory evaluation practices: Food and science technology Series* », Academic Press, Boston, 2012.
- [173] H. R. Moskowitz, A. M. Muñoz et M. Jr, « *Viewpoints and controversies in sensory science and consumer product testing* », Food& Nutrition Press, USA, 2008.

- [174] H. R. Moskowitz, J. H. Beckley et A. Resurreccion, «*Sensory and consumer research in food product design and development*», Blackwell Publishing L.td and the institute of Food Technologists, USA, 2012.
- [175] National research council, «*Food Acceptance Testing Methodology* », USA, 1954.
- [176] J. Sieffermann, «*Etude comparative de méthodes descriptives en analyse sensorielle, application à l'évaluation de l'efficacité du profil libre* », Ecole Nationale Supérieurs des Industries Agricoles et Alimentaires, France, 1995.
- [177] L. Paravisini, «*Flaveur du caramel : impacts de la fraction volatile odorante et de la fraction non volatile sur la perception* », Centre des sciences du goût et de l'alimentation, Dijon, 2013.
- [178] A. Giboreau et L. Body, «*Le marketing sensoriel: de la stratégie à la mise en œuvre*», Vuibert, 2007.
- [179] M. Masson, «*Contribution à la modélisation des préférences des consommateurs en fonction de dimensions sensorielles et subjectives par les modèles d'équations structurelles. Application aux préférences des sièges conducteurs de véhicules* », Agro Paris Tech, Paris, 2014.
- [180] H. Moskowitz, «*The intertwining of psychophysics and sensory analysis: historical perspectives and future opportunities – a personal view* », *Food Qual. Prefer*, vol 14, p 87-98, 2002
- [181] H. Bogaty, N. Hollieset M. Harris, «*The judgment of harshness of fabrics* », *Text. Res. J.*, vol 26, no 5, p 355-360, 1956.
- [182] F. Philippe, «*Contribution à l'évaluation tactile des produits textiles par analyse sensorielle* », Thèse de doctorat, Université de Haut-Alsace, Mulhouse, 2002.
- [183] I. Soufflet, «*Le profil sensoriel permet-il de refléter la perception de la main des étoffes? - Impact de l'expertise et du contexte sur l'organisation perceptive* », Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, 2005.
- [184] C. Dacremont, «*Spectral composition of eating sound by crispy, crunchy and crackly foods* », *J. Texture Stud*, vol 26, p 27-43, 1995.
- [185] M. Alayrac, «*Indicateurs de gêne sonore pour l'étude d'impact du bruit d'un site industriel: caractérisation physique et perceptive* », Thèse de doctorat, Université de Claude Bernard Lyon, 2009.
- [186] J. Morel et C. Marquis-Favre, «*Annoyance due to combined road traffic and industrial noises: a simulated environment experiment* », *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, vol 247, p 1126–1134, 2013.

- [187] ISO 1566, « *Évaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques* », 2003.
- [188] M. E. Nilsson, « *A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound* », *J. Sound Vib*, p 197-207, 2007.
- [189] P. Susini et S. MC Adam, « *Caractérisation perceptive des bruits de véhicules* », Marseille, 1997.
- [190] D. Dubois, « *Categories as acts of meaning: the case of categories in olfaction and audition* », *Cognitive science quarterly*, p 35-68-2000.
- [191] H. F. Sonoko, « *Subjective evaluation of car door sound* », In Proc. SQS, USA, 2002.
- [192] T. J. Shin, D. C. Park et S. K. Lee, « *Objective evaluation of door-closing sound quality based on physiological acoustics* », *Int. J. Automot. Technol*, vol 14, no 1, p 133-141, 2013.
- [193] S. Kuwano, « *Evaluation of the impression of danger signals - comparison between Japanese and German subjects* », In 7^{ème} Oldenburger Symposium, BIS, Oldenburger, p 115-127, 1997.
- [194] S. Chollet et D. Valentin, « *Impact of training on beer flavor perception and description: Are trained and untrained subjects really different?* », *J. Sens. Stud*, vol 16, no 6, p 601-618, 2001.
- [195] J. Cho, E. Yi, et G. Cho, « *Physiological responses evoked by fabric sounds and related mechanical and acoustical properties* », *Text. Res. J*, vol 71, no 12, p 1068-1073, 2001.
- [196] G. Cho, J. G. Casali et E. Yi, « *Effect of fabric sound and touch on human subjective sensation* », *Fibers Polym*, vol 2, no 4, p 196-202, 2001.
- [197] G. Yi, « *A fabric sound evaluation system for totally Auditory-Sensible textiles* », *Text. Res. J*, vol 72, no 7, p 638-644, 2002.
- [198] C. Kim, G. Cho, et Y. Na, « *Effects of basic weave differences in silk fabric and yarn type variations in satin weave on sound parameters* », *Text. Res. J*, vol 72, no 6, p 555-560, 2002.
- [199] C. Kim, G. Cho, K. Hong et H. Shim, « *Sound characteristics according to cross-sectional shapes of fibers* », *Fibers Polym*, vol4, no 4, p 199-203, 2003.
- [200] Y. Na et G. Cho, « *Variations in sensibility to fabric frictional sound by fiber type and subject* », *Text. Res. J*, vol 73, no 9, p 837-842, 2003.
- [201] E. Yi, J. Cho, G. Cho, J. G. Casali et G. S. Robinson, « *One-Third octave band spectral characteristics and consumers' evaluation for sound of blouse fabrics* », *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet*, vol 48, no 6, p 956-960, 2004.
- [202] G. Cho, J. Cho, C. Kim et J. Ha, « *Physiological and subjective evaluation of the rustling sounds of polyester Warp Knitted Fabrics* », *Text. Res. J*, vol 75, no 4, p 312-318, 2005.

- [203] J. Cho et G. Cho, « *Determining the Psychoacoustic Parameters That Affect Subjective Sensation of fabric sounds at given sound pressures* », *Text. Res. J.*, vol 77, no 1, p 29-37, 2007.
- [204] D. Majou, « *Évaluation sensorielle : guide de bonnes pratiques* », Association de coordination technique pour l'industrie agro-alimentaire, France, 2014.
- [205] R. Hootman, « *Manual on descriptive analysis testing for sensory evaluation* », West Conshohocken, ASTM International, 1992.
- [206] A. M. Muñoz, « *Sensory evaluation in quality control* », Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- [207] J. Murray, C. Delahunty et I. Baxter, « *Descriptive sensory analysis: past, present and future* », *Food Res. Int.*, vol 34, p 461-471, 2001.
- [208] H. Stone et J. L. Sidel, « *Sensory evaluation practices* », Academic Press, UK, 2004.
- [209] M. A. Brandt, E. Z. Skinner et J. A. Coleman, « *Texture profile method* », *J. Food Sci.*, vol 28, no 4, p 404-409, 1963.
- [210] A. A. Williams et S. P. Langron, « *The use of free-choice profiling for the evaluation of commercial ports* », *J. Sci. Food Agric.*, vol 35, no 5, p 558-568, 1984.
- [211] J. S. Herbert Stone, « *Sensory evaluation by Quantitative Descriptive Analysis* », Dept. of Food and Plant Sciences Stanford Research Institute Menlo Park, p 23 - 34, 2008.
- [212] N. Larson-Powers et R. M. Pangborn, « *Paired comparison and Time-Intensity measurements of the sensory properties of beverages and gelatins containing sucrose or synthetic sweeteners* », *J. Food Sci.*, vol 43, no1, p 41-46, 1978.
- [213] L. Perrin, « *Contribution méthodologique à l'analyse sensorielle du vin* », Thèse de doctorat, Université de Rennes, Rennes-Agrocampus-CRD, France, 2008.
- [214] NF ISO 11035, « *Analyse sensorielle- Recherche et sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel, par approche multidimensionnelle* », AFNOR, 1995.
- [215] ISO 5495, « *Analyse sensorielle - Méthodologie - Essai de comparaison par paires* », 2005.
- [216] NF EN ISO 13299, « *Analyse sensorielle- Méthodologie- Directives générales pour l'établissement d'un profil sensoriel* », AFNOR, 2010.
- [217] NF ISO 8586, « *Analyse sensorielle — Lignes directrices générales pour la sélection, l'entraînement et le contrôle des sujets qualifiés et sujets sensoriels experts* », AFNOR, 2012.
- [218] BP X10-040, « *Caractérisation sensorielle des matériaux- Méthodologie générale- Recommandations méthodologiques pour l'analyse sensorielle de la matière première au produit fini* », AFNOR, 2003.
- [219] G. V. Békésy, « *Experiments in hearing* », Acoustical Society of Amer, New York, 1989.

- [220] R. L. McBride, « *Hedonic rating of food: single or side-by-side sample presentation?* », Int. J. Food Sci. Technol, vol 21, no 3, p 355-363, 1986.
- [221] S. Thirion, J.-F. Martin, S. Rousset-Akrim, et C. Touraille, « *Comparaison de deux méthodes de présentation d'échantillons en analyse sensorielle* », 4^{ème} journée agro-industrie et méthodes statistiques, Dijon, 1995.
- [222] A.M. Gouronnet, « *Analyses olfactométriques ou mesure des odeurs par analyse sensorielle* », Ed. Techniques Ingénieur, 2004.
- [223] N. Pineau, « *La performance en analyse sensorielle, une approche base de données* », Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, 2006.
- [224] NF ISO 4121, « *Analyse sensorielle- Lignes directrices pour l'utilisation d'échelles de réponses quantitatives* », AFNOR, 2004.
- [225] M. Cardinal et J. Cornet, « *Mise en place d'un jury interne d'analyse sensorielle des produits marins-Evaluation des performances des dégustateurs* », Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, 1993.
- [226] H. Binns, « *A tactile comparison of the cloth qualities of continental and noble combed materials* », J. Text. Inst. Trans, vol 25, no 5, p T157-T173, 1934.
- [227] G. Winakor, C. J. Kim et L. Wolins, « *Fabric hand: Tactile sensory assessment* », Text. Res. J, vol 50, no 10, p 601-610, 1980.
- [228] Tastel, « *Analyse sensorielle : Tastel, support de formation et manuel d'utilisateur* », ABT, 2013.
- [229] XP V09-503, « *Analyse sensorielle- Mesure des performances d'un ou plusieurs jury(s) effectuant des profils sensoriels conventionnels* », AFNOR, 2009.
- [230] M. C. Gacula, « *Design and Analysis of Sensory Optimization* », Food Institute Press, USA 2008.
- [231] T. Couronne, « *A study of assessors' performance using graphical methods* », Food Qual. Prefer, vol 8, no 5-6, p 359-365, 1997.
- [232] P. Schlich, « *Grapes: A method and a Sas® program for graphical representations of assessor performances* », J. Sens. Stud, vol 9, no 2, p 157-169, 1994.
- [233] D. S. Lundahl et M. R. McDaniel, « *Use of contrasts for the evaluation of panel Inconsistency I* », J. Sens. Stud, vol 5, no 4, p 265-277, 1990.
- [234] S. McAdams, « *Penser les sons: Psychologie cognitive de l'audition* », 1^{ère} édition, Presses universitaires de France, Paris, 1994.
- [235] prBP X10-045, « *Caractérisation sensorielle des matériaux, corrélation instrument/sensoriel* », AFNOR, 2010.

- [236] L. Koehl, « *Conception et réalisation d'un estimateur de dimension fractale par utilisation des techniques floues* », Thèse de doctorat, Université des sciences et technologies, Lille, 1998.
- [237] J. O. Rawlings, S. G. Pantula et D. A. Dickey, « *Applied regression analysis : a research tool* », 2 édition, Springer, USA, 1998.
- [238] B. Efron, « *An introduction to the bootstrap* », Chapman & Hall, New York, 1993.
- [239] S. Cho, G. Cho, et C. Kim, « *Fabric sound depends on fiber and stitch types in weft knitted fabrics* », *Text. Res. J*, vol 79, no 8, p 761-767, 2009.
- [240] L. J. Williams et H. Abdi, « *Fisher's least significant difference (LSD) test* », *Encycl. Res. Des*, p 1-5, 2010.
- [241] M. C. Meilgaard, B. Carr et G. Civille, « *Sensory Evaluation Techniques* », 3th édition, Taylor & Francis, 1999.
- [242] R. J. Tallarida et R. B. Murray, « *Duncan Multiple Range Test* », Springer, New York, 1987.
- [243] H. L. Harter, « *Critical values for Duncan's New Multiple Range Test* », *Biometrics*, vol 16, no 4, p 671, 1960.
- [244] R. Monrozier et M. Danzart, « *A quality measurement for sensory profile analysis The contribution of extended cross-validation and resampling techniques* », *Food Qual. Prefer*, vol 12, no 5-7, p 393-406, 2001.
- [245] T. Næs, « *Handling individual differences between assessors in sensory profiling* », *Food Qual. Prefer*, vol 2, no 3, p 187-199, 1990.
- [246] B.M. Richman, « *Rotation of principal components* », Review of Journal, *Journal of Climatology*, vol 6, p 293-335, 1986.
- [247] G. Dijksterhuis, « *Assessing panel consonance* », *Food Qual. Prefer*, vol 6, no 1, p 7-14, 1995.
- [248] M. O'Mahony, « *Sensory evaluation of food: statistical methods and procedures* », 1^{ère} édition, CRC Press, New York, 1986.
- [249] M. Jambu et M. O. Lebeaux, « *Classification automatique pour l'analyse des données: Méthodes et algorithmes* », vol 1, Dunod, 1978.
- [250] G. Saporta, « *Probabilités Analyse des Données et Statistique* », 2^{ème} édition, Technip, Paris 2011.
- [251] R. Rakotomalala, « *Analyse de corrélation* », *Cours statistique à l'université de lumière Lyon*, vol 2, p 89, 2012.
- [252] P. Bertier et J.-M. Bouroche, « *Analyse des données multidimensionnelles* », Presses Universitaires de France, 1975.
- [253] N. R. Draper et H. Smith, « *Applied Regression Analysis* », John Wiley & Sons, Inc., 1998.

- [254] M. Carricano, F. Poujol et L. Bertrandias, « *Analyse de données avec SPSS®* », 2^{ème} édition, Pearson Education France, Paris, 2010.
- [255] JMP, « *JMP Statistics and Graphics Guid* », SAS, 2007.
- [256] Tekscan, « *Capteur de pression A401* », Disponible sur le site : <http://www.tekscan.com/flexible-force-sensors>.
- [257] LabVIEW Signal Express, disponible sur le site : <http://www.ni.com/labview/signalexpress/f/>
- [258] NF EN ISO 139, « *Textiles- Atmosphères normales de conditionnement et d'essai* », AFNOR, 2005.
- [259] M. Issa, « *Contribution à l'étude des corrélations entre mesures sensorielles tactiles et mesures instrumentales des matériaux fibreux* », Thèse de doctorat, Université de Haut-Alsace, Mulhouse, 2007.
- [260] C. Kefi, A. Moukadem et A. Dieterlen, « *Projet de mémoire* », IUT, Mulhouse, 2014.
- [261] J.C. Ower, « *Euclidean distance geometry* », *Math.scientist*, p 1-14, UK, 1982.
- [262] ISO 7029:2000, « *Acoustique - Distribution statistique des seuils d'audition en fonction de l'âge* », 2000.
- [263] I. Venetsky, « *Basic mathematical and statistical concepts and formulas in the economic analysis* », *Statistics*, 249c, 1974, Disponible sur le site: <http://www.twirpx.com/file/415147/>
- [264] P. D. Dubrovski, « *Woven fabric engineering* », Sciyo, Croatia, 2010.
- [265] B. A. Loucin, « *Dynamique et vibroacoustique du contact rugueux : expérimentation et modélisation* », Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lyon, Lyon, 2010.
- [266] K. Gandhi, « *Woven Textiles: Principals, Technologies and Applications* », Woodhead Publishing, USA, 2012.
- [267] A. Mahmoud et A. Ibrahim, « *Using nonwoven hollow fibers to improve cars interior acoustic properties* », *Life Sci. J.*, vol 81, 2011.
- [268] M. Tascan et E. A. Vaughn, « *Effects of fiber denier, fiber cross-sectional shape and fabric density on acoustical behavior of vertically lapped nonwoven fabrics* », *J. Eng. Fibers Fabr.*, vol 3, no 2, p 32–38, 2008.
- [269] H. S. Seddeq, « *Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials* », *Aust J Basic Appl Sci*, vol 3, no 4, p 4610–7, 2009.
- [270] NF ISO 6658, « *Analyse sensorielle- Méthodologie- Lignes directrices générales* », AFNOR, 2006.
- [271] GA V09-027, « *Analyse sensorielle- Guide d'application des normes de l'analyse sensorielle aux produits cosmétiques* », AFNOR, 2012.
- [272] NF EN ISO 4120, « *Analyse sensorielle- Méthodologie- Essai triangulaire* », AFNOR, 2007.

- [273] ISO 10399, « *Analyse sensorielle - Méthodologie - Essai duo-trio* », 2004.
- [274] ISO 8588, « *Analyse sensorielle. Méthodologie. Essai A - Non A* », 1987.
- [275] NF V09-500, « *Analyse sensorielle- Méthodologie- Directives générales pour la réalisation d'épreuves hédoniques effectuées avec des consommateurs dans un espace contrôlé* ». AFNOR, 2012.
- [276] J. Delarue, B. Lawlor et M. Rogeaux, « *Rapid sensory profiling techniques: Applications in new product development and consumer research* », Woodhead, Cambridge, 2014.
- [277] R. D. Mattes, « *Influences on acceptance of bitter foods and beverages* », *Physiol. Behav*, vol 56, no 6, p 1229-1236, 1994.
- [278] I. Boutrolle, « *Mesure de l'appréciation des aliments par les consommateurs : état des pratiques et propositions méthodologiques* », Thèse de doctorat, Agro Paris Tech, 2007.
- [279] J. Y. Le Merrer, « *Méthode de tracé de modèle, vêtements masculin sportwear*», Académie Internationale de Coupe de Paris, Vauclair, Paris, 2008.

ANNEXES

ANNEXE 1

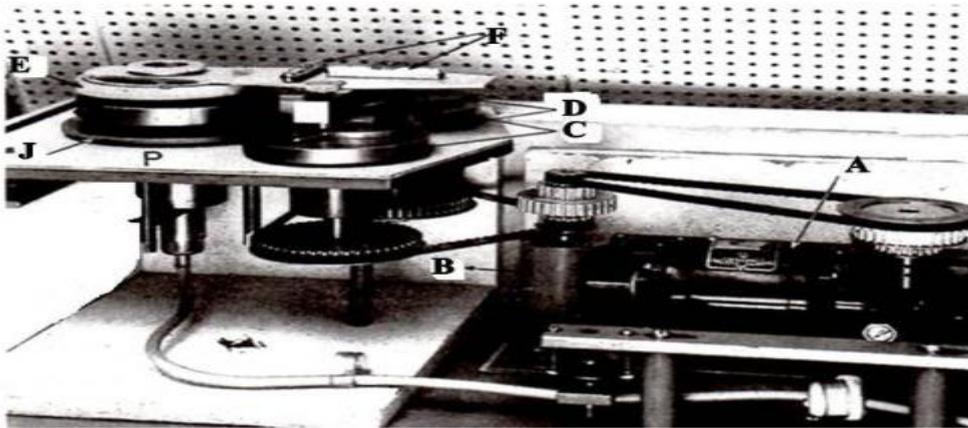
(Dispositifs de génération du bruit de frottement des étoffes textiles)

Figure 130 : Dispositif de Walter pour génération du bruit frottement [48]

A (moteur), B (ensemble d'engrenage), C (deux disques de même diamètre), D (support de disque), E (traverse de la tête supérieur), F (niveau), J (disque inférieur), P (plateau).

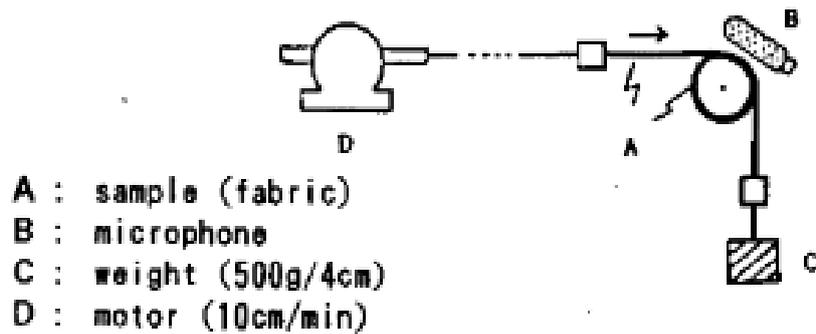


Figure 131 : Dispositif de Fujimoto pour génération du bruit de frottement [50]

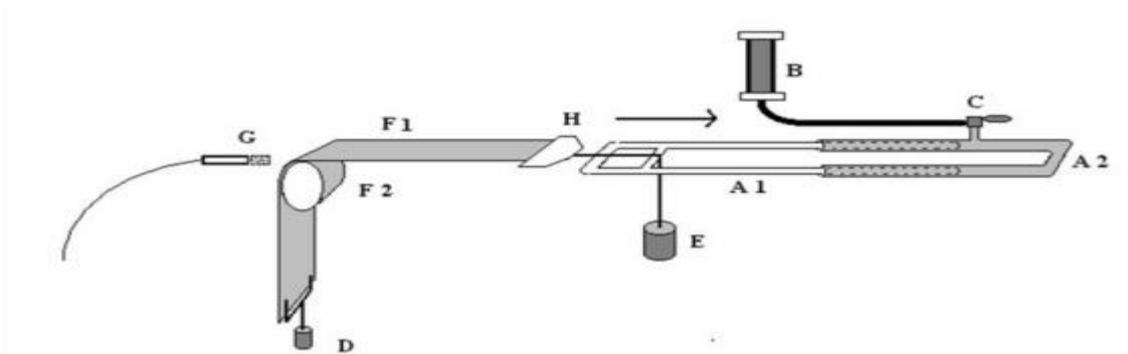


Figure 132 : Dispositif de Yi et Cho pour génération du bruit de frottement [52]

A1 (piston), A2 (tuyau), B (cylindre), C (valve), D (poids de 500 g), E (poids de 5 kg), F1 (étoffe de 15×75cm²), F2 (étoffe roulée sur un poulie), G (microphone), H (support).

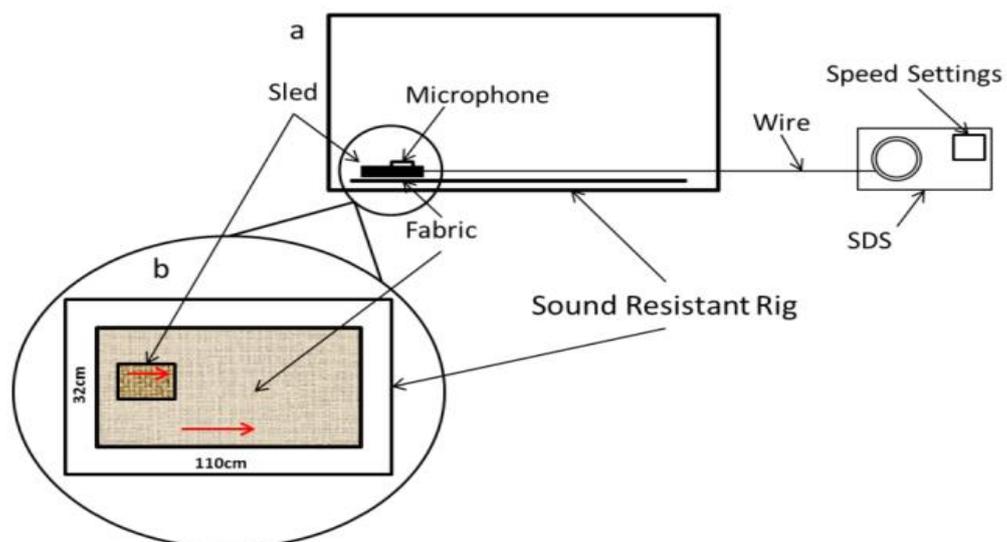


Figure 133 : Dispositif de Cooper pour génération du bruit de frottement [28]

SDS (Sled Driving System).

ANNEXE 2

(Courbes de Fletcher et Munson)

Les courbes isosoniques relient les sons purs produisant une même sensation de force sonore. Chaque ligne correspond à une sonie particulière exprimée en phones. Les lignes isosoniques sont établies en comparant un son variable à un son de référence de 1000Hz et de niveau sonore donné. Fixons par exemple à 40 dB le son de référence. A chaque fréquence choisie du son test, on ajuste son intensité pour qu'il paraisse de même niveau que le son de référence. On détermine ainsi l'intensité que doivent avoir les sons purs de toute autre fréquence pour évoquer la même sonie. Tous les sons appartenant à chaque ligne isosonique ont la particularité d'avoir la même sonie, celle de son de 40 dB à 1000 Hz. Par convention, on attribue à cette sonie la valeur de 40 phones. On recommence ensuite les mesures pour une autre intensité du son de référence, par exemple 60 dB, et on obtient alors la ligne isosonique de 60 phones. En répétant ce protocole de mesure pour des intensités du son de référence réparties entre le seuil d'audition et le seuil de douleur, on obtient un réseau de lignes isosoniques comme celui de la Figure 134. On notera que pour la fréquence de 1000 Hz, les valeurs de l'échelle des phones coïncident, par construction, avec celles de l'échelle des décibels [61] [65] .

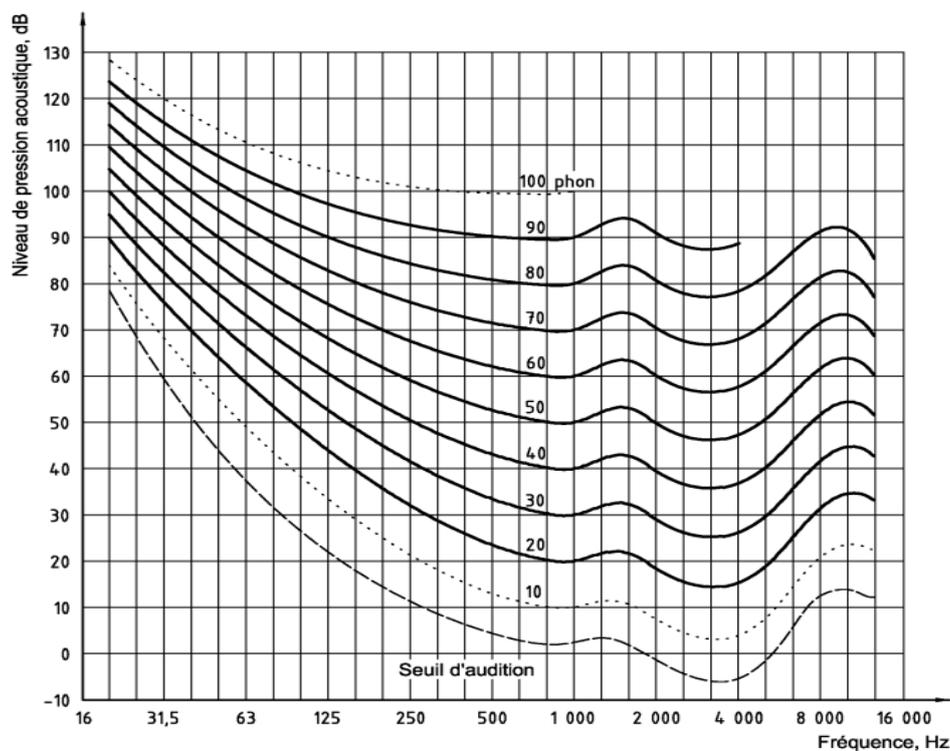


Figure 134 : Courbes isosoniques [65]

ANNEXE 3

(Tests discriminatifs et hédoniques)

- **Les tests discriminatifs**

les tests discriminatifs sont couramment utilisés pour déterminer la probabilité de différence ou de similarité entre les produits [270][241]. Ces méthodes sont très simples à mettre en œuvre et à interpréter : les sujets perçoivent ou ne perçoivent pas si les produits sont sensoriellement différents[158]. Ces tests trouvent leur application pour déterminer le seuil de discrimination afin de faire des évaluations préliminaires, tester si une nouvelle technologie de fabrication, le changement d'ingrédient, ou de matériel de production a une conséquence sur la perception finale du produit par les consommateurs [154]. Ces tests peuvent être réalisés par un panel de sujets entraînés mais aussi par des consommateurs naïfs, n'ayant aucune expérience sensorielle [271].

Différentes épreuves peuvent être utilisées :

- Epreuve triangulaire : trois échantillons codés, présentés simultanément, dont deux sont identiques. Les sujets indiquent celui des échantillons qu'ils pensent être différent, même si ce choix ne repose que sur une supposition [272].
- Epreuve de comparaison par paire : les échantillons sont présentés par paires en vue de les comparer et de détecter des différences. Les sujets identifient l'échantillon qu'ils considèrent le plus intense sur l'attribut considéré selon des critères identifiés [215].
- Epreuve duo-trio : l'un de deux échantillons est identique à un échantillon témoin. Les sujets doivent le signaler [273].
- Epreuve A-non A : un témoin A et une série d'échantillons, pouvant être A ou non A, sont présentés aux sujets. Les sujets vont déterminer quel est l'échantillon A [274].

- **Les tests hédoniques**

Les tests hédoniques aussi appelés tests consommateurs, visent à évaluer l'appréciation des consommateurs et leur réaction envers un produit en fonction des propriétés sensorielles [275]. Ces tests traduisent les préférences des consommateurs, leur plaisir et leur acceptabilité¹ pour un objet à partir de ses propriétés organoleptiques à un moment donné et dans un contexte déterminé [276]. Le test hédonique est généralement mené auprès de plusieurs dizaines de consommateurs appartenant à la cible, les sujets (consommateurs) doivent être des sujets naïfs non entraînés [158]. Les réponses obtenues sont liées à plusieurs critères : pays (culture), état de santé des sujets (état physique, psychologique) et l'environnement de test [277][278]. Il s'agit d'une photographie des préférences d'une population donnée, à un moment donné. Les facteurs explicatifs d'une préférence pour un

produit sont toujours multiples et il est difficile de les isoler. Le besoin des conditions particulières pour évaluer la réaction des consommateurs rend ce type de test complexe à réaliser.

D'autres tests d'analyse sensorielle sont décrits dans la littérature tels que le test de classement qui consiste pour les sujets à ranger par ordre d'intensité croissante ou décroissante des échantillons présentés simultanément [172] et le test d'évaluation de l'intensité d'une grandeur sensorielle simple (épreuve de cotation, épreuve d'intervalle, et épreuve de rapport) [158].

ANNEXE 4

(ANOVA)

Le principe de l'analyse de variance ANOVA est le suivant [158]:

Si l'on note :

$y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n_1}$ les n_1 résultats relevés pour le produit n°1

$y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2n_2}$ les n_2 résultats relevés pour le produit n°2

$y_{p1}, y_{p2}, \dots, y_{pn_p}$ les n_p résultats relevés pour le produit n°p

Chaque produit est caractérisé par sa moyenne y_i et par sa variance estimée σ_i^2 . Ce dernier paramètre donne une indication sur la dispersion des mesures à l'intérieur du groupe i . On fait l'hypothèse que les σ_i^2 sont un peu près égaux et l'on estime une dispersion moyenne, dite variance intrapopulation, en prenant la moyenne pondérée des différentes valeurs σ_i^2 .

$$CMR = \frac{\sum_{i,j} (y_{ij} - y_i)^2}{n-p} \quad \text{Avec} \quad n = \sum_{i=1}^p n_i$$

CMR signifie carré moyen résiduel et estime la variance résiduelle σ^2 .

La dispersion des différentes moyennes y_i par rapport à la moyenne générale $y_{..}$, dite variance interpopulation est donnée par :

$$CMP = \frac{\sum_{i=1}^p n_i (y_i - y_{..})^2}{p-1}$$

CMP signifie carré moyen dû à l'effet produit.

CMP exprime l'importance des différences entre les moyennes des groupes. La statistique utilisée pour décider de l'existence d'une différence significative entre les populations est la statistique de Fisher (F):

$$F = \frac{CMP}{CMR}$$

Les résultats sont en général présentés dans un tableau d'analyse de variance pour un facteur (produit), sous la forme

Tableau 117 : Statistiques ANOVA pour un facteur produit

source de variation	somme des carrés	degré de liberté	carrés moyens	Fisher
produits	$SCP = \sum n_i (y_i - y_{..})^2$	p-1	$CMP = \frac{SCP}{p-1}$	$F = \frac{CMP}{CMR}$
résiduelle	$SCR = \sum (y_{ij} - y_i)^2$	n-p	$CMR = \frac{SCR}{n-p}$	
totale	$SCT = \sum (y_{ij} - y_{..})^2$	n-1	$CMT = \frac{SCT}{n-1}$	

Les statistiques du modèle d'analyse de variance pour deux facteurs sont données dans le tableau suivant :

Tableau 118 : Statistiques ANOVA à deux facteurs (produit et sujet)

source de variation	somme des carrés	degré de liberté	carrés moyens	Fisher
produits	$SCP = \sum rs(y_{i.} - y_{...})^2$	p-1	$CMP = \frac{SCP}{p-1}$	$F = \frac{CMP}{CMR}$
sujets	$SCS = \sum rp(y_{.j} - y_{...})^2$	s-1	$CMS = \frac{SCS}{s-1}$	$F = \frac{CMS}{CMR}$
interaction	$SCI = \sum r(y_{ij.} - y_{i.} - y_{.j} + y_{...})^2$	(p-1)(s-1)	$CMI = \frac{SCI}{(p-1)(s-1)}$	$F = \frac{CMI}{CMR}$
résiduelle	$SCR = \sum (y_{ijr} - y_{ij.})^2$	p.s(r-1)	$CMR = \frac{SCR}{(p.s(r-1))}$	
totale	$SCT = \sum (y_{ij.} - y_{...})^2$	p.s.r-1	$CMT = \frac{SCT}{(p.s.r-1)}$	

Avec i est le numéro du produit (p produits), j est le numéro du sujet, r est le numéro de la répétition.

ANNEXE 5

(Fiches techniques)

Les fiches techniques sont présentées dans l'ordre suivant :

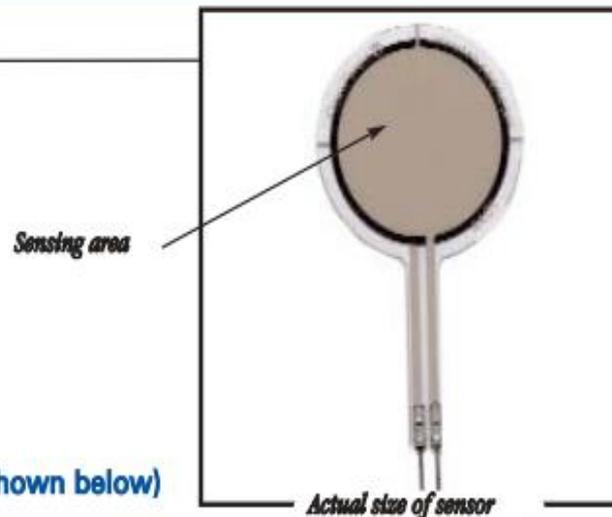
- 1) Fiche technique du capteur de pression Flexiforce A401
- 2) Fiche technique du microphone Brüel et Kjaer type 4190
- 3) Fiche technique du préamplificateur Brüel et Kjaer type 2669
- 4) Fiche technique du casque Sennheiser HD type 280 Pro

FlexiForce®

Standard Force & Load Sensors Model # A401

Physical Properties

Thickness	0.208 mm (0.008 in.)
Length	56.8 mm (2.24 in.)
Width	31.8 mm (1.25 in.)
Sensing Area	25.4 mm (1 in.) diameter
Connector	2-pin Male Square Pin
Substrate	Polyester (ex: Mylar)
Pin Spacing	2.54 mm (0.1 in.)



Standard Force Ranges (as tested with circuit shown below)

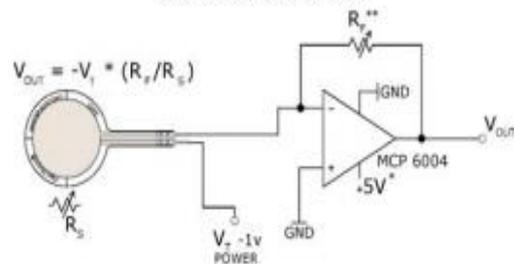
Force Range:

0 - 25 lb. (110 N)

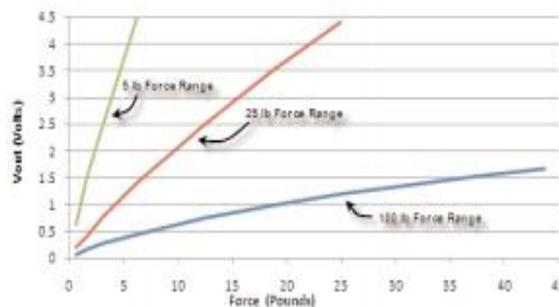
Force Range Adjustments

Measurement ranges of 0-1 lb and 0-7000 lb are achievable with the A401 sensor by utilizing the recommended circuitry. The force range can be extended by reducing the drive voltage, V_T , or the resistance value of the feedback resistor, R_F . Conversely, the sensitivity can be increased for measurement of lower forces by increasing V_T or R_F .

Recommended Circuit



- * Supply Voltages should be constant
- ** Reference Resistance R_r is 1k Ω to 100k Ω
- Sensor Resistance R_s at no load is >5M Ω
- Max recommended current is 2.5mA



Typical Performance

Linearity (Error)	< $\pm 3\%$
Repeatability	< $\pm 2.5\%$ of full scale
Hysteresis	< 4.5 % of full scale
Drift	< 5% per logarithmic time scale
Response Time	< 5 μ sec

Operating Temperature 15°F - 140°F (-9°C - 60°C)*

Evaluation Conditions

Line drawn from 0 to 50% load
 Conditioned sensor, 80% of full force applied
 Conditioned sensor, 80% of full force applied
 Constant load of 25 lb (111 N)
 Impact load, output recorded on oscilloscope
Time required for the sensor to respond to an input force

4190 - ½-inch free-field microphone, 6.3 Hz to 20 kHz, 200V polarization



Type 4190 is designed for high-precision free-field measurements where a microphone with high sensitivity is required. Being external polarized type 4190 must be used with classical preamplifier.

Applications

- Precision sound measurement
- Premium class sound level meters
- Equipment complying with IEC 61672 class 1

Fonctionnalités

- Sensitivity: 50 mV/Pa
- Frequency: 6.3 Hz – 20 kHz
- Dynamic range: 14.6 – 146 dB
- Temperature: – 30 to +150°C (– 22 to +302°F)
- Polarization: 200 V

Use of free-field microphones

At higher frequencies, reflections and diffractions cause a pressure increase in front of the diaphragm of a microphone. If not corrected for this would result in an increased output voltage. A free-field optimisation means that the frequency response of the microphone has been designed in such a way that the free-field response at 0 degrees incidence is flat. This microphone is optimised for use with the protection grid in place.

Free-field microphones are commonly used for sound measurement in an anechoic chamber or far away from reflecting buildings, etc. Another area for free-field microphones is for general electroacoustic measurements like loudspeaker and microphone measurements.

Type 4190 is not only suited for use in class 1 Sound Level Meters but also for all high-precision acoustic measurements where a robust and stable, externally polarized free-field microphone with an upper frequency of 20 kHz is required.

Manufacturing and stability

A press-fitted, stainless-steel diaphragm ensures superior long-term stability and mechanical robustness – Type 4190 will withstand the 1 m drop test of IEC 60068 – 2 – 32.

All Brüel & Kjær Measuring Microphones are assembled in a clean room. This ensures that the microphones maintain their inherent low noise floor and high stability, even when used in environments with a combination of high humidity and high temperature.

Polarization voltage

Type 4190 requires an external polarization voltage and must therefore be used with a classical preamplifier. Externally polarized microphones may be used at higher temperatures without severe changes in sensitivity.

Type 4190 is available in TEDS combinations with the classical Microphone Preamplifier Type 2669. The TEDS microphone is considered one unit and has been sealed in a clean environment. The TEDS is programmed with the loaded sensitivity of the actual cartridge and the data is therefore readily available. The default TEDS template is to IEEE P 1451.4 but TEDS to IEEE 1451.4 is available on request.

Falcon™ Range 1/2" Microphone Preamplifier — Type 2669

USES:

- Sound measurements with Brüel & Kjær 1/2" (1", 1/4" and 1/8" with adaptor) and compatible microphones
- General-purpose preamplifier and high-impedance input probe for Brüel & Kjær measuring instruments

FEATURES:

- Full electromagnetic compatibility (EMC)
- Detachable, thin cable for easy installation

- Compact LEMO connector at preamplifier
- Patented charge-injection calibration technique for on-site calibration of the whole measuring channel including the microphone
- Wide dynamic range
- Very low inherent noise, high input impedance
- Low output impedance and high output current allows use with long extension cables
- Wide working temperature range
- Falcon™ Range product with a three-year guarantee

1/2" Microphone Preamplifier Type 2669 is a Falcon™ Range product for making precision acoustic measurements with Brüel & Kjær's wide range of condenser microphones. You can connect 1/2" microphones directly and 1", 1/4" and 1/8" types using adaptors.

The preamplifier, cable and its connectors all fulfil EMC requirements.

You can verify the condition of the microphone, preamplifier and cable on-site using its patented charge-injection calibration technique.

The preamplifier's low output impedance allows the use of long extension cables without problems.

Description

This 1/2" Falcon™ Range microphone preamplifier operates over a wide range of temperature, humidity and other environmental conditions. It is available in three versions: the cylindrical Type 2669 C and the conical Types 2669 L and 2669 B. Apart from the shape of the housing, the only difference is the connectors. The conical form is optimized with respect to acoustical properties, whereas the cylindrical form will fit existing specialized holders.

The preamplifier has a very high input impedance presenting virtually no load to the microphone. The high output voltage together with an extremely low inherent noise level gives a wide dynamic range.

The low output impedance and high output current capability means



that you can use long cables between the preamplifier and your measuring instrument without loss of signal quality. Furthermore, this Falcon™ Range microphone preamplifier comes with an extended guarantee period of three years. It is supplied in an elegant and strong plastic box made from recyclable materials.

EMC Certification

The preamplifier complies with EMC (electromagnetic compatibility) requirements specified in EN 50082-1 (residential, commercial and light in-

dustry) as well as in EN 50082-2 (industrial environment). These are generic European standards for electrical noise immunity, to ensure that instruments do not interfere with each other. To get the full benefit of this certification, the preamplifier must be connected to an instrument which also complies with EMC requirements.

Charge-injection Calibration

This is a patented technique for verifying the entire measurement set-up

including the microphone, preamplifier and connecting cable (see box below).

Microphones and Sockets

You can fit 1/2" microphones directly and 1", 1/4" and 1/8" microphones using adaptors DB 0375, UA 0035 and UA 0036 respectively.

Preamplifier Type 2669 L is delivered with a cable which fits the LEMO preamplifier input socket on new Brüel & Kjær instruments (as well as instruments from Hewlett-Packard and Nortronic). Adaptor ZG 0350 is available for converting it to traditional 7-pin Brüel & Kjær preamplifier sockets. Alternatively, Type 2669 B is available for direct use with traditional Brüel & Kjær instruments. This cable has the same diameter and flexibility, but is equipped with a traditional Brüel & Kjær plug. Both types are fitted with a LEMO 0B connector at the preamplifier.

In contrast the cylindrical Type 2669 C is fitted with a LEMO 1B connector, which means that it can be connected directly to LEMO to LEMO extension cables. Type 2669 C is supplied without a cable.

Power Supply

You can use a dual (plus/minus) or single power supply for the preamplifier. When using a balanced power supply, the offset voltage at the output — and at the preamplifier guard ring — will be almost zero. This protects you against harmless, but unpleasant, electrical shocks if you accidentally mount or remove the microphone with power on, and gives a faster stabilisation time for a measurement set-up.

Detachable Cable (2669L and B)

The 4 mm thick connecting cable is made of silicone and is very flexible. It has a wide working temperature range (-60°C to 150°C). It has a small high-quality connector at the preamplifier end for easy detachment during installation.

Accessories

In addition to the previously mentioned adaptors for 1", 1/4" and 1/8" microphones, other useful accessories are available. The Coaxial Input Adaptor JJ 2617 is used for measuring electrical signals by connecting the preamplifier directly to cables with microplugs (Cables AO 0038, AO 0122). The Flexible Extension Rod UA 0196 gives directional flexi-

bility to the microphone and increases the distance between the microphone and the preamplifier. This allows continuous exposure of the microphone to high temperatures (up to 150°C, 302°F) while avoiding electrical noise otherwise generated by the preamplifier at high temperatures. For short periods the UA 0196 tolerates temperatures up to 300°C (572°F). Microphone Holder UA 1317 is used for mounting the preamplifier on a tripod without compromising the acoustical properties of the preamplifier. It can hold all Brüel & Kjær 1/2" preamplifiers. Adaptor DP 0901 is supplied with the preamplifier for use with holders that require a cylindrical shaped preamplifier.

Characteristics

The small and large signal frequency response of the preamplifier depend on the capacitance of the microphone connected to its input and the capacitive load (for example, extension cables) connected to the output.

Small Signal Frequency Response

The curves in Fig. 1 show the low-frequency response of the preamplifier.

Brüel & Kjær's Patented Charge-injection Calibration Technique

The Charge-injection Calibration (CIC) technique is a method for remotely verifying the condition of the entire measurement set-up including the microphone. This is a great improvement over the traditional insert-voltage calibration method which virtually ignores the state of the microphone. The CIC technique is very sensitive to any change in the microphone's capacitance which is a reliable

indicator of the microphone's condition.

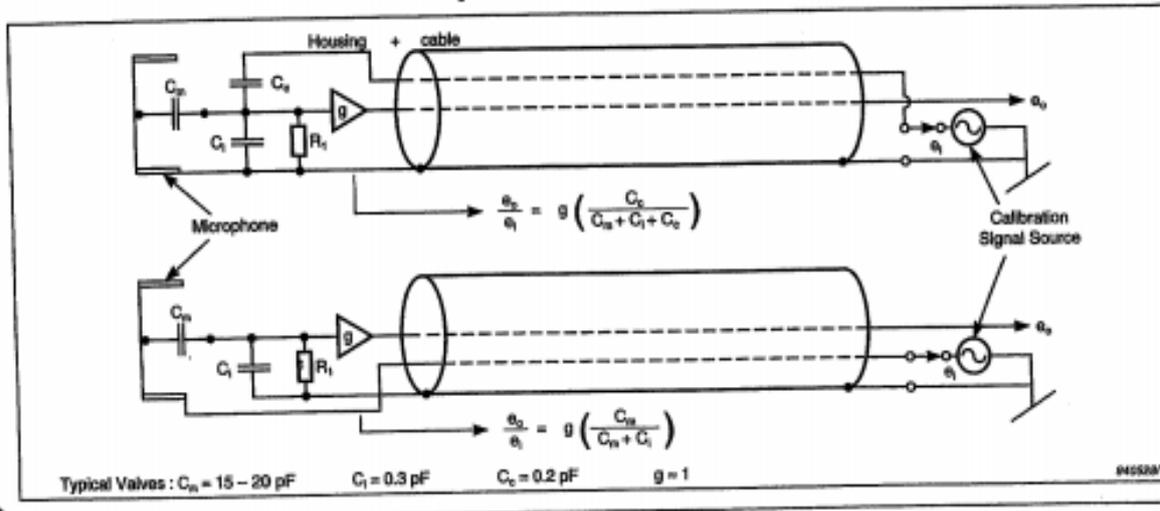
The technique works by introducing a small but accurately defined capacitance C_c (typically 0.2 pF) with a very high leakage resistance (greater than 50000 GΩ) into the circuit of the preamplifier, see below (upper diagram). C_i and R_i represent the preamplifier's high input impedance and g its gain (≈ 1).

For a given calibration signal e_i , the output e_o of this arrangement will change measurably, even for small changes in the microphone's capacitance C_m . The CIC technique is about 100 times more sensi-

tive than the insert-voltage calibration arrangement shown in the lower diagram.

In the extreme case where there is significant leakage between the microphone's diaphragm and its backplate (C_m becomes very large), the signal output will change by tens of decibels compared with only tenths of a decibel using the insert-voltage method.

Another important CIC feature is that, unlike the insert-voltage technique, it is far less sensitive to external electrical fields.



er for various microphone capacitances. These capacitances (47 pF, 15 pF and 6.2 pF) are typical for 1", 1/2" and 1/4" microphones respectively. Note that they do not show or take into account the lower cut-off frequencies of the microphones. The effects of various capacitive output loads (cable length) on the high-frequency response are also shown. The curves in Fig. 1 apply for signal levels within the large signal limits in Table 2.

Large Signal Frequency Response

The capacitive load of extension cables on the output of the preamplifier influences its frequency response and available output voltage. If the specified maximum output current of the preamplifier is exceeded, the signal will be distorted. The curves in Fig. 2 show the upper distortion limits (3%) as a function of preamplifier output voltage, frequency and capacitive loading (cable length). The curves are shown for total supply voltages of 120 VDC and 28 VDC (± 60 VDC and ± 14 VDC dual supply voltages respectively).

Noise

Fig. 3 shows typical noise frequency spectra when loading the preamplifier with 6.4 pF and 15 pF microphone capacities. The low noise of the preamplifier ensures that the noise floor for a microphone/preamplifier assembly is determined mainly by the associated microphone over most of the frequency range. The preamplifier can work at temperatures up to 150°C, but reduced specifications for noise and output capability will apply.

More information on preamplifiers and other Falcon™ Range products are given in the Microphone Handbook BA 5105.

Extension Cables

Extension Cable	AO 0414/15 /16	AO 0027	AO 0028/29
Connectors	LEMO	Brüel & Kjær	
Length	3/10/30 m	3 m	10/30 m
Diameter	4 mm	6 mm	9 mm
Capacitance	290/950 /2900 pF	300 pF	570/ 1700 pF

Table 1 Extension cables

All the extension cables with LEMO connectors (see Table 1) are fully EMC certified. The preamplifier can be used with traditional cables with Brüel & Kjær connectors, but EMC compatibility is not guaranteed. The

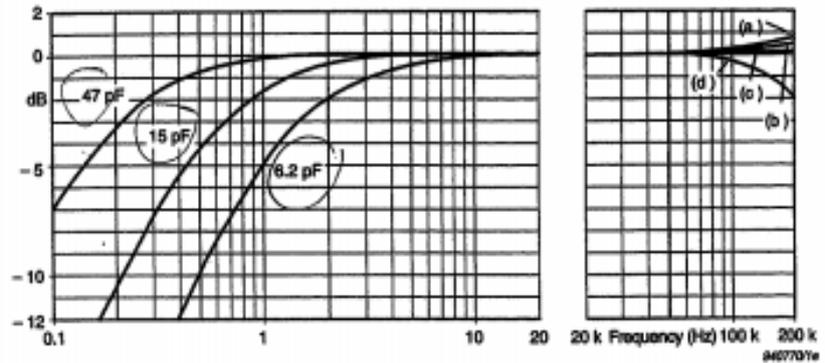


Fig. 1 Small signal frequency response of the preamplifier at low frequencies for various microphone capacitances and at high frequencies for various capacitive loads which are (a) 10 nF (b) 3 nF (c) with the 3 m cable supplied (d) 30 nF

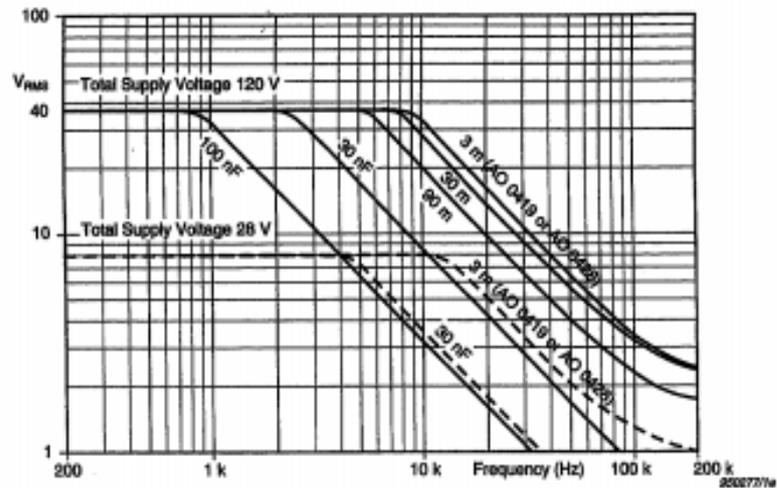


Fig. 2 Upper distortion limit (3%) as a function of preamplifier output voltage and frequency for various capacitive loads. The full-drawn curves are valid for a preamplifier powered with 120 VDC (± 60 VDC) and the dotted curves are for 28 VDC (± 14 VDC)

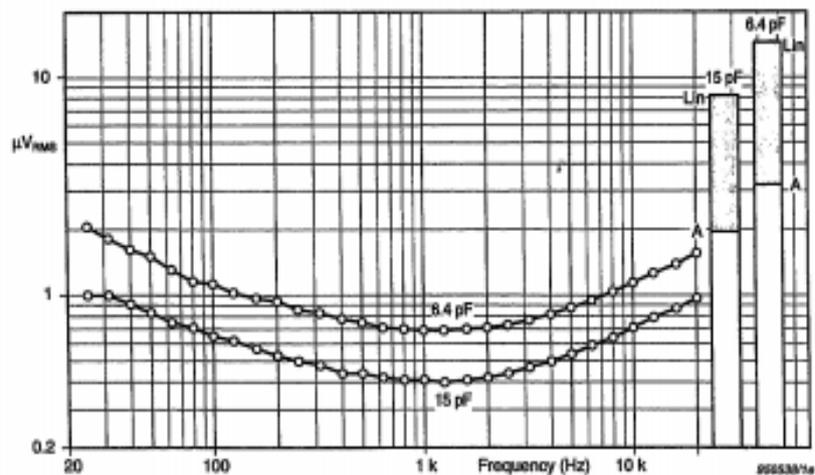


Fig. 3 Typical noise frequency spectra in μV measured with 6.4 pF and 15 pF microphone capacities. The spectra are measured in 1/3-octave bands with levels at centre frequencies indicated by circles. The bar graphs represent broad-band (22.4 Hz to 300 kHz) and A-weighted noise levels for both microphone capacities

cables in Table 1 have a working temperature range from -20 to $+80^\circ C$. They are very robust, have low capacitance and extremely good shield-

ing so that several of them can be connected in series without loss of signal quality.

Specifications 2669

FREQUENCY RESPONSE (re 1 kHz):

3 Hz to 200 kHz, ± 0.5 dB. See Fig. 1
 ATTENUATION: 0.35 dB (max.)

PHASE LINEARITY:

$\pm 3^\circ$ from 20 Hz to 100 kHz

PHASE MATCHING: 0.3° at 50 Hz

INPUT IMPEDANCE: $15 \text{ G}\Omega$ | 0.45 pF

OUTPUT IMPEDANCE: 25Ω (max.)

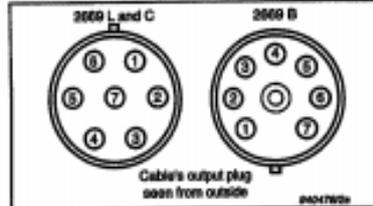
CONNECTOR TYPE:

LEMO type FGJ.OB.307 at preamp. (2669 L & B)

LEMO type FGG.1B.307 (2669 L), or Brüel & Kjaer JP 0715 (2669 B) to measuring device

LEMO type FWG.1B.307 at preamp. (2669 C)

PIN CONNECTIONS:



Pin	LEMO (L & C)	Brüel & Kjaer (B)
1	Calibration input	Ground
2	Signal ground	Pol. voltage
3	Pol. voltage	Calibration input
4	Signal output	Signal output
5	Not connected	Power supply positive
6	Power supply positive	Not connected
7	Power supply negative/ground	Not connected
Casing	Connected to instrument chassis	

MAX. OUTPUT CURRENT: 20 mA (peak)

Note: The max. output current can be limited by the power supply

CURRENT CONSUMPTION:

3 mA plus output current

MAX. OUTPUT VOLTAGE:

Maximum output voltage V_{pp} is equal to total supply voltage minus 10 V

OUTPUT SLEW RATE: $2 \text{ V}/\mu\text{s}$

DISTORTION (THD):

Less than -80 dB at 25 V out, 1 kHz

NOISE:

$\leq 8.2 \mu\text{V}$ Lin. 20 Hz – 300 kHz

$\leq 10.0 \mu\text{V}$ Lin. 20 Hz – 300 kHz (max.)

$\leq 1.9 \mu\text{V}$ A weighted

$\leq 2.2 \mu\text{V}$ A weighted (max.)

POWER SUPPLY, DUAL: $\pm 14 \text{ V}$ to $\pm 60 \text{ V}$

POWER SUPPLY, SINGLE: 28 V to 120 V

OUTPUT DC OFFSET:

$\approx 1 \text{ V}$ for a dual supply, or

$\approx 1/2$ the voltage of a single supply

CALIBRATION INPUT:

Charge insert capacity: 0.2 pF

Max. 10 V RMS, input impedance: 1 nF

DIMENSIONS:

Diameter: 12.7 mm (0.5")

Length: 110 mm (4.3"), (2669 L and B)

120 mm (4.7"), (2669 C)

Weight: 40 g (1.41 oz) (preamplifier only)

Note: All values are typical at 25°C (77°F), unless measurement uncertainty is specified. All uncertainty values are specified at 2σ (i.e. expanded uncertainty using a coverage factor of 2). The above are valid for 15 pF mic. capacitance and a 3 metre cable unless otherwise specified.

COMPLIANCE WITH STANDARDS:

	CE-mark indicates compliance with: EMC Directive and Low Voltage Directive.
Safety	EN 61010-1 and IEC 1010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use.
EMC Immunity	EN 50082-1: Generic immunity standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50082-2: Generic immunity standard. Part 2: Industrial environment. Note: The above is guaranteed only with extension cables AO 0414, AO 0415 and AO 0416.
Temperature	IEC 68-2-1 & IEC 68-2-2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat. Operating Temperature: -20 to $+60^\circ\text{C}$ (-4 to $+140^\circ\text{F}$), (150°C (302°F) with increase in noise) Storage Temperature: -25 to $+70^\circ\text{C}$ (-13 to $+158^\circ\text{F}$)
Humidity	IEC 68-2-3: 95% RH (non-condensing at 40°C (104°F))
Enclosure	IEC 529: IP 20
Mechanical	Non-operating: IEC 68-2-6: Vibration: 0.3 mm , 20 m/s^2 , 10–500 Hz IEC 68-2-27: Shock: 1000 m/s^2 IEC 68-2-29: Bump: 4000 bumps at 400 m/s^2
Reliability	MI-HDBK 217F, GB (Part-Stress): MTBF >40000 hours (max. 2.5% errors/1000h)

Charge Injection Calibration Technique patented according to US Patent No. 5,400,297. The patent includes the measurement method and its implementation.

Ordering Information

Type 2669 L $1/2$ " Microphone Preamplifier (LEMO connector)

Includes the following accessories:

DP 0901: $1/2$ " Cylindrical Adaptor

AO 0419: Microphone Cable 3 m (9.8 ft.)

or as a special order:

EL 4006-AC 0219-x: Microphone Cable length x m (specified by customer)

Type 2669 B $1/2$ " Microphone Preamplifier (Brüel & Kjaer connector)

Includes the following accessories:

DP 0901: $1/2$ " Cylindrical Adaptor

AO 0428: Microphone Cable 3 m (9.8 ft.)

or as a special order:

EL 4005-AC 0219-x: Microphone Cable length x m (specified by customer)

Type 2669 C $1/2$ " Microphone Preamplifier (no cable included)

Optional Accessories

ZG 0350: LEMO to 7-pin Brüel & Kjaer adaptor

JJ 2517: Input Adaptor (51 pF). Is screwed directly onto a preamplifier for connection to microphone cables

UA 0196: Flexible Extension Rod

DB 0375: $1/2$ " to 1" Adaptor

UA 0035: $1/2$ " to $1/4$ " Adaptor

UA 0036: $1/2$ " to $1/8$ " Adaptor

UA 1317: $1/2$ " Microphone Holder

BA 5105: Microphone Handbook

WB 0850: Insert Junction Adaptor for Type 2669 B/2669 L with Adaptor

ZG 0350. For Charge-Injection Calibration

Extension Cables

LEMO to LEMO:

AO 0414: 3 m (9.8 ft.)

AO 0415: 10 m (32.8 ft.)

AO 0416: 30 m (98.4 ft.)

EL 4004-AC 0079-x: Length x m (specified by customer)

AR 0014: Flat Cable, 0.5 m (1.64 ft.)

Brüel & Kjaer reserves the right to change specifications and accessories without notice

Brüel & Kjaer

HEADQUARTERS: DK-2850 Nærum · Denmark · Telephone: +45 4580 0500 · Fax: +45 4580 1465 · www.bkav.com · info@bkav.com

Australia (+61) 2 9889-8888 · Austria (+43) 1 865 74 00 · Brazil (+55) 11 5188-8186 · Canada (+1) 514 895-8225 · China (+86) 10 690 29906 · Czech Republic (+420) 2 6702 1100
 Finland (+358) 9-735 950 · France (+33) 1 69 90 71 00 · Germany (+49) 421 17 87 0 · Hong Kong (+852) 2548 7486 · Hungary (+36) 1 215 83 05 · Ireland (+353) 1 807 4083
 Italy (+39) 0257 68061 · Japan (+81) 3 3779 8671 · Republic of Korea (+82) 2 3473 0805 · Netherlands (+31) 318 55 9290 · Norway (+47) 66 77 11 55 · Poland (+48) 22 516 75 56
 Portugal (+351) 21 47 11 4 53 · Singapore (+65) 377 4512 · Slovak Republic (+421) 25 443 0701 · Spain (+34) 91 659 0820 · Sweden (+46) 8 449 8900 · Switzerland (+41) 1 880 7035
 Taiwan (+886) 2 2502 7255 · United Kingdom (+44) 14 38 739 050 · USA (+1) 800 332 2040 · Local representatives and service organizations worldwide

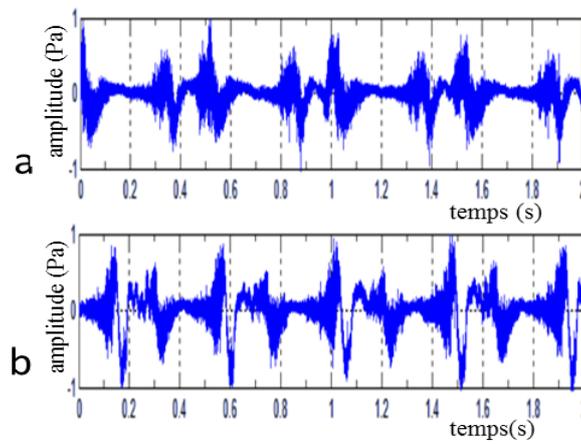
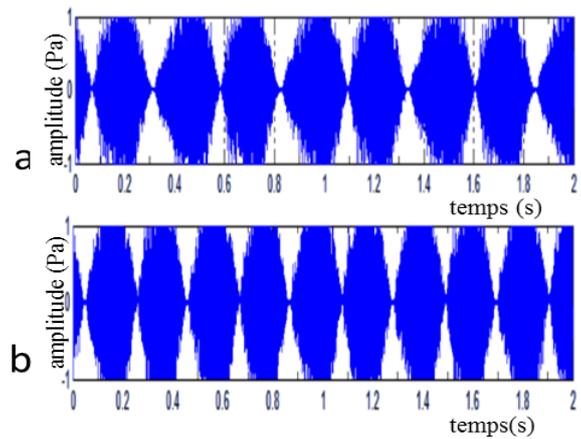
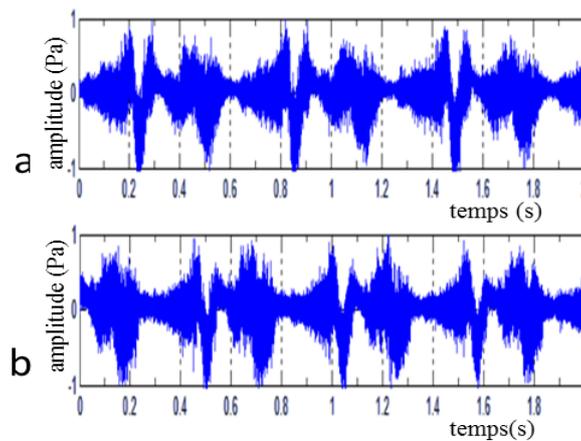
Sennheiser HD 280 Pro



Fiche technique :

1 casque HD 280 PRO
1 adaptateur jack stéréo 3,5 mm/jack stéréo 6,3 mm à visser
Transducteur: dynamique, fermé
Impédance nominale: 64 Ohm
Niveau maximal de pression sonore (SPL): 102 dB (IEC 268-7)
Puissance continue: 500 mW
Distorsion harmonique totale (DHT): 0,1 %
Couplage auriculaire: circumaural
Pression de contact: 6 N
Poids sans câble: 220 g
Jack (connecteur/embase): 3,5 / 6,3 mm stereo
Câble de branchement: Câble spiralé (min 1 m/max 3 m)
Réponse en fréquence: 8 à 25000 Hz

ANNEXE 6

(Signatures acoustiques des étoffes textiles)**Figure 135 : Signature acoustique pour l'étoffe en soie d'armure toile : a- marche b-course****Figure 136 : Signature acoustique pour l'étoffe en polyamide/polyuréthane d'armure toile : a- marche
b- course****Figure 137 : Signature acoustique pour l'étoffe en polyamide d'armure satin 3 : a- marche b- course**

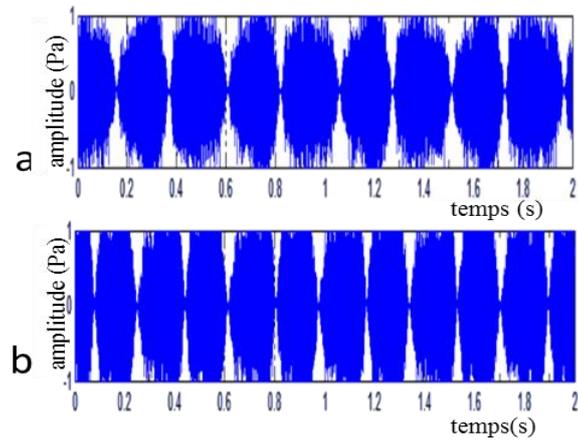


Figure 138 : Signature acoustique pour l'étoffe en polyamide d'armure toile : a- marche b- course

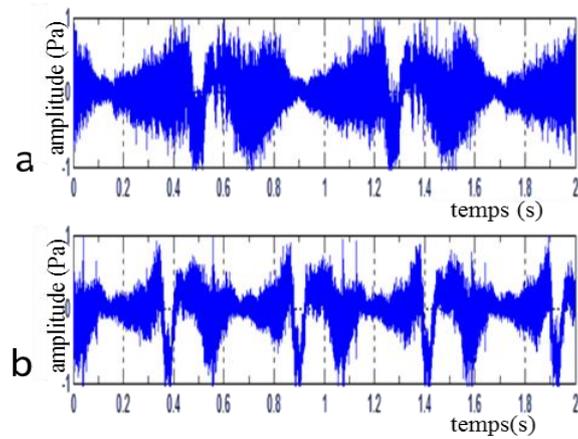


Figure 139 : Signature acoustique pour l'étoffe en lin d'armure toile : a- marche b- course

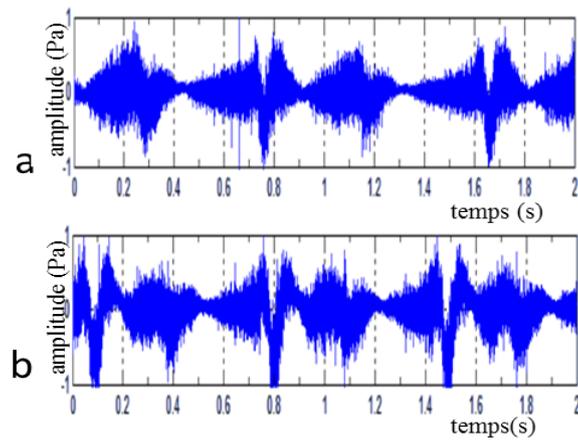


Figure 140 : Signature acoustique pour l'étoffe non-tissé : a- marche b- course

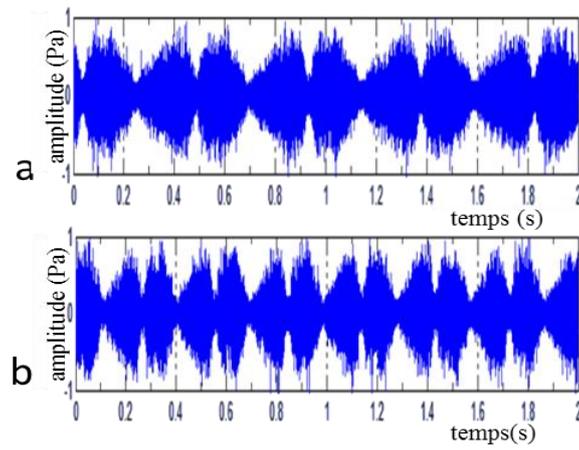


Figure 141 : Signature acoustique pour l'étoffe en coton écreu d'armure crêpe : a- marche b- course

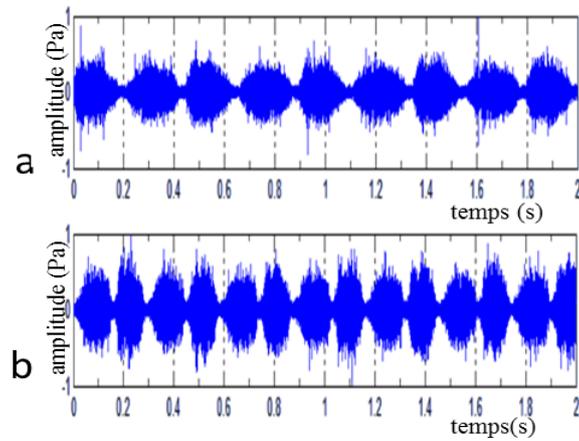


Figure 142 : Signature acoustique pour l'étoffe en coton écreu d'armure satin 4: a- marche b- course

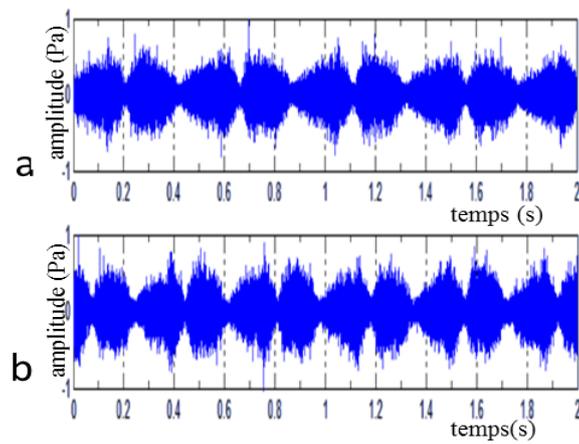


Figure 143 : Signature acoustique pour l'étoffe en coton écreu d'armure serge 4: a- marche b-course

ANNEXE 7

(Fenêtre de commande la fonction de Décomposition en Valeurs Singulières)

```

function y=SVDFeatures(st_matrix)

[U,B,W]=svd(st_matrix(2:size(st_matrix,1),:));

pdensityl1=abs(U(:,1).^ 2);
pdensityr1=abs(W(:,1).^ 2);

l1=length(pdensityl1);
pdistribution1(1:l1)=cumsum(pdensityl1(1:l1));

r1=length(pdensityr1);
pdistribution2(1:r1)=cumsum(pdensityr1(1:r1));

for i=1:10
tmp(i)=B(i,i)
end

f1=abs(U(:,1));
t1=abs(W(:,1));
vs=tmp/sum(tmp);

u1=hist(pdistribution1,10);

v1=hist(pdistribution2,10);

u=[u1,v1,tmp];
% figure(1);
%
% % subplot(2,3,1);plot(f1);
% % subplot(2,3,2);plot(pdistribution1);
% % subplot(2,3,3);stem(u1);
% % subplot(2,3,4);plot(t1);
% % subplot(2,3,5);plot(pdistribution2);
% % subplot(2,3,6);stem(v1);
% % figure(2); stem(tmp);
% u1=u1./max(u1);
% v1=v1./max(v1);
% tmp=tmp./max(tmp);

y=[u1,v1,tmp];
end

```

ANNEXE 8

(Distance de différence entre les allers et les retours)

Distance entre les allers, les retours pour l'armure crêpe :

Cette distance à la vitesse de marche est présentée dans le Tableau 119 la Figure 144.

Tableau 119 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure crêpe -marche

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	1,1296	0,5953	0,9581
	B1-B2	1,9042	0,9888	1,6214
période 2 (8-10)	A1-A3	1,8479	0,5104	1,3106
	B1-B3	1,5233	0,4120	1,4652
période 3 (10-12) s	A1-A4	1,4873	0,2815	1,4268
	B1-B4	1,1450	0,6445	0,9459
période 4 (12-14) s	A1-A5	1,4672	0,4582	1,3861
	B1-B5	1,0973	0,5254	0,9588

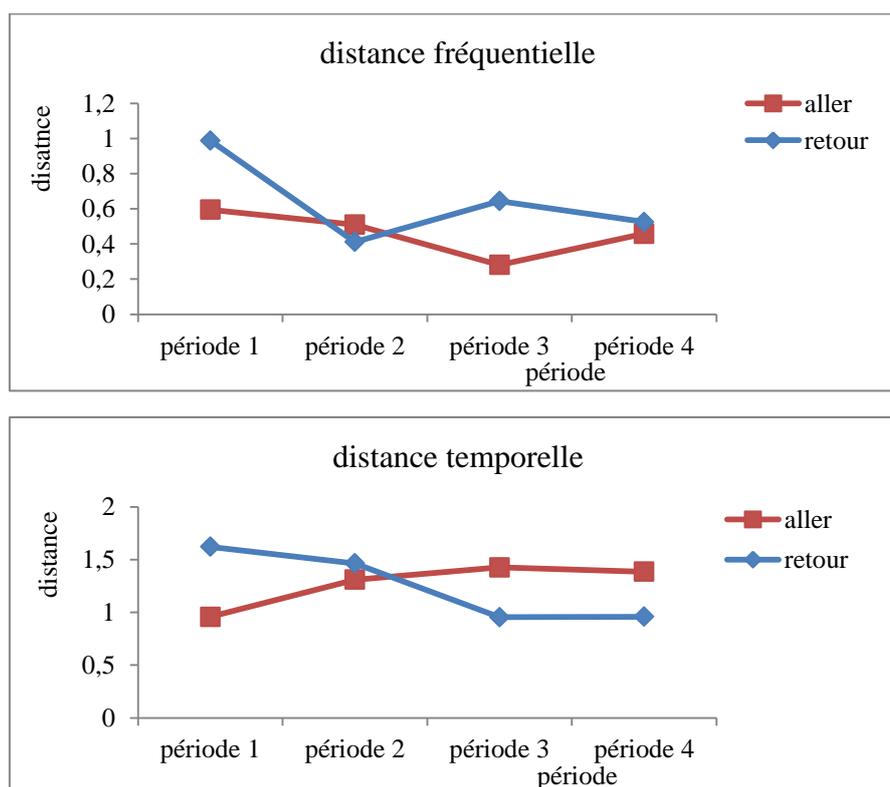


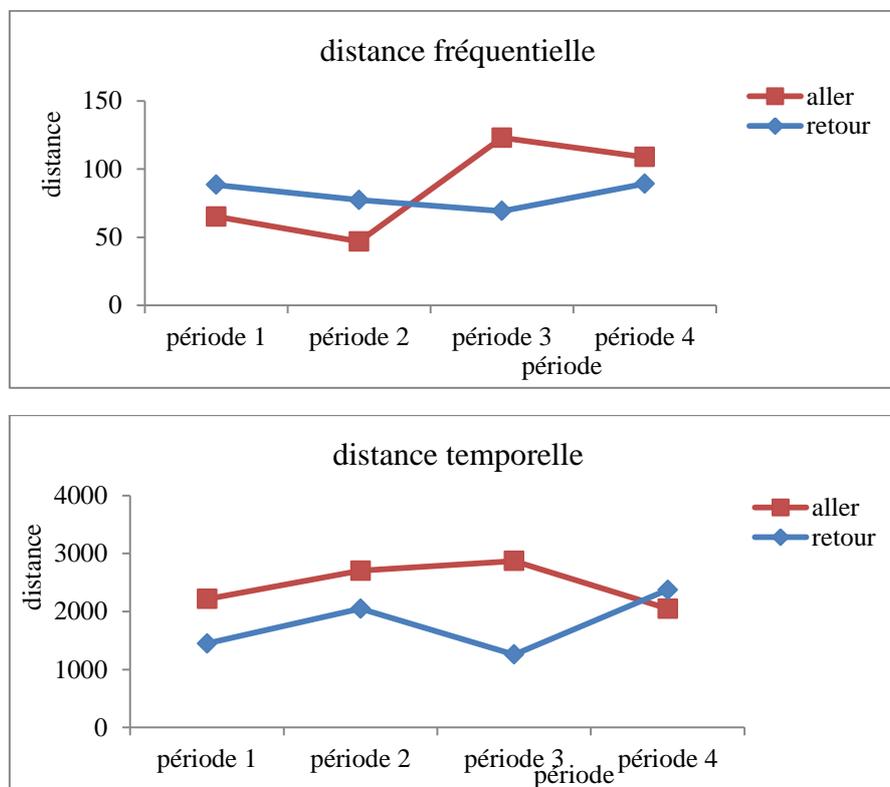
Figure 144 : Distance de différence entre les allers et les retours pour crêpe – marche

La distance de différence est similaire dans le domaine fréquentiel et temporel, cette distance a tendance à diminuer d'une période à l'autre dans le domaine fréquentiel, tandis qu'il est stable pour les périodes les plus importantes dans le domaine temporel.

La distance de différence à la vitesse de course est présentée dans le Tableau 120 la Figure 145.

Tableau 120 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure crêpe -course

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	2,2190e+03	65,0846	2,2180e+03
	B1-B2	1,4499e+03	88,4421	1,4472e+03
période 2 (8-10)	A1-A3	2,7036e+03	46,9042	2,7032e+03
	B1-B3	2,0495e+03	77,3046	2,0481e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	2,8736e+03	122,9715	2,8710e+03
	B1-B4	1,2592e+03	69,1954	1,2573e+03
période 4 (12-14) s	A1-A5	2,0505e+03	108,8393	2,0476e+03
	B1-B5	2,3764e+03	89,2749	2,3747e+03

**Figure 145 : Distance fréquentielle entre les allers et les retours pour crêpe – course**

D'après la Figure 145, nous trouvons que le contenu d'énergie entre les différents segments du signal acoustique de l'armure crêpe varie d'une période à l'autre avec une différence plus importante dans le domaine temporel. Cette différence est plus importante entre les allers que les retours dans le domaine temporel. Les allers et les retours sont plus similaires pour les périodes plus importantes.

Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure satin 4 :

La distance à la vitesse de marche est présentée dans le Tableau 121 et la Figure 146. Cette distance est plus importante entre les allers que les retours dans le domaine fréquentiel, mais c'est l'inverse

dans le domaine temporel. Les allers et les retours deviennent plus similaires pour des périodes plus importantes. Cette distance reste moins importante en comparaison avec les autres armures.

Tableau 121 : Distance de référence entre les allers et les retours pour l'armure satin 4 - marche

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	1,2521	0,3535	0,9989
	B1-B2	1,6799	0,1817	1,6353
période 2 (8-10)	A1-A3	1,1012	0,3210	0,7136
	B1-B3	1,1226	0,1468	1,0956
période 3 (10-12) s	A1-A4	1,1012	0,3210	0,7136
	B1-B4	1,1226	0,1468	1,0956
période 4 (12-14) s	A1-A5	1,3055	0,3017	1,1398
	B1-B5	1,3807	0,2580	1,3382

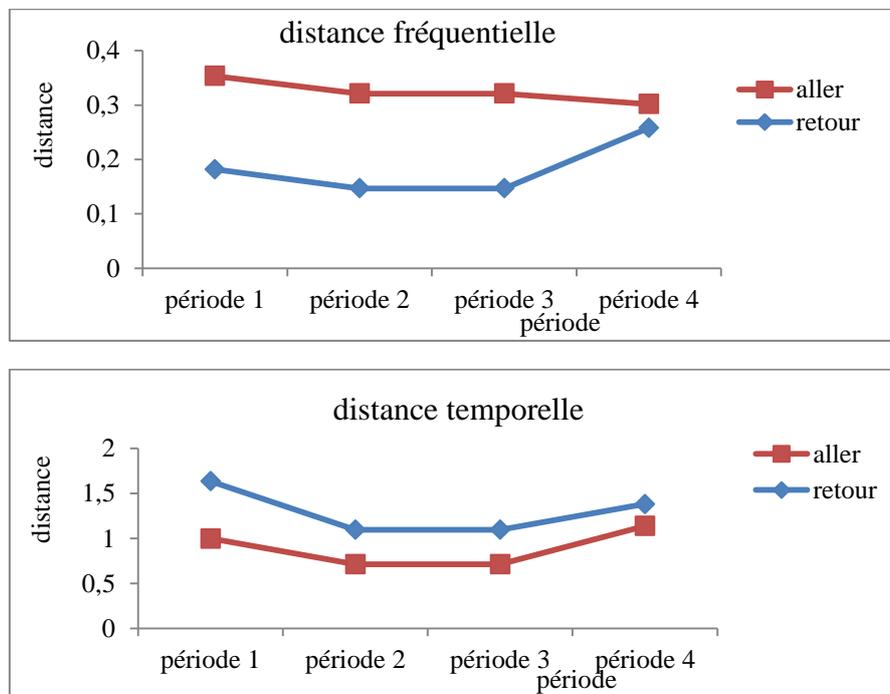


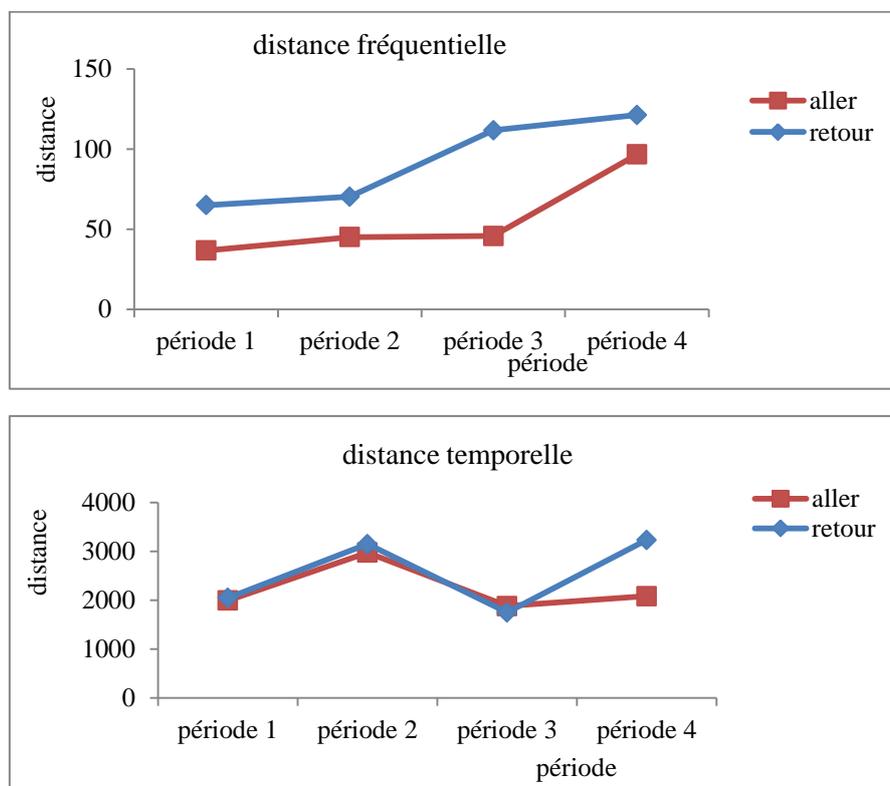
Figure 146 : Distance de différence entre les allers et les retours pour satin 4 – marche

La distance de différence à la vitesse de course est présentée dans le Tableau 122 la Figure 147.

D'après la Figure 147, cette distance est plus importante entre les retours dans le domaine fréquentiel : le contenu d'énergie des fréquences du signal au retour est plus différent. Les allers et les retours sont plus similaires en termes d'énergie dans le domaine temporel. Cette distance augmente pour les périodes les plus importantes.

Tableau 122 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure satin 4 - course

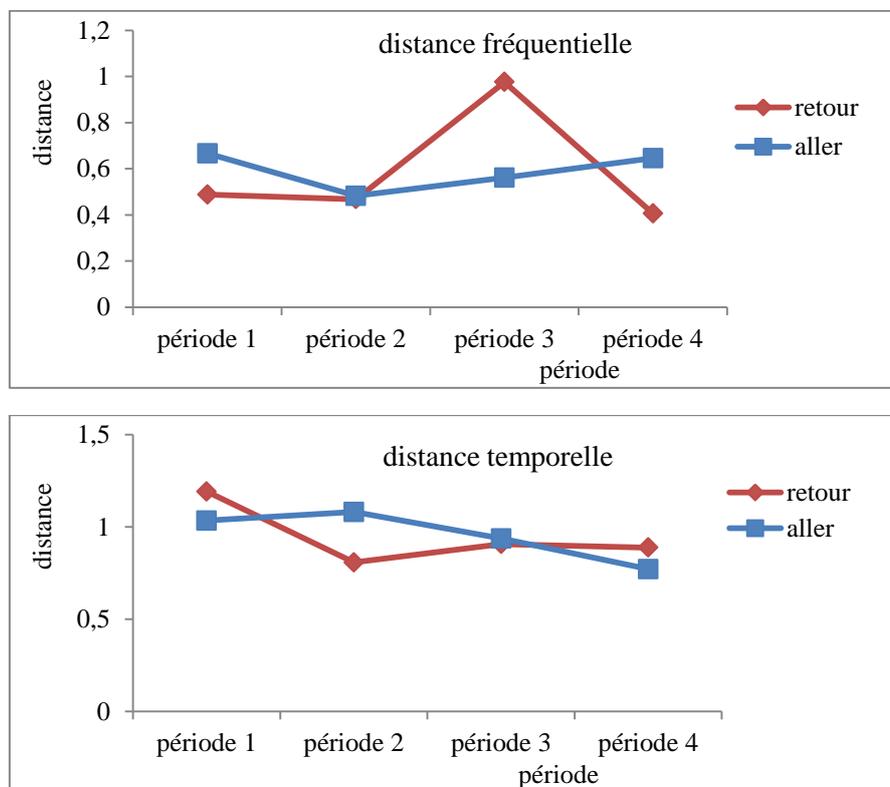
distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	1,9984e+03	36,6333	1,9981e+03
	B1-B2	2,0519e+03	64,9615	2,0509e+03
période 2 (8-10)	A1-A3	2,9780e+03	45,0333	2,9777e+03
	B1-B3	3,1512e+03	70,2424	3,1504e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	1,8839e+03	45,6946	1,8834e+03
	B1-B4	1,7558e+03	111,6512	1,7522e+03
période 4 (12-14) s	A1-A5	2,0889e+03	96,6230	2,0866e+03
	B1-B5	3,2390e+03	121,2353	3,2368e+03

**Figure 147 : Distance de différence entre les allers et les retours pour satin 4 – course**Distance de différence entre les allers, les retours pour l'armure satin 5 :

La distance de différence à la vitesse de marche est présentée dans le Tableau 123 et la Figure 148. Cette distance varie d'une manière plus homogène pour les allers que les retours. Le contenu d'énergie est plus similaire entre les allers et les retours dans le domaine temporel. Cette distance diminue au fur et à mesure du temps dans le domaine temporel.

Tableau 123 : Distance différentielle entre les allers et les retours pour l'armure satin 5 -marche

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	1.2384	0.6664	1.0340
	B1-B2	1.3094	0.4880	1.1909
période 2 (8-10)	A1-A3	1.1883	0.4822	1.0801
	B1-B3	1.0253	0.4679	0.8076
période 3 (10-12) s	A1-A4	1.1772	0.5614	0.9366
	B1-B4	1.6115	0.9757	0.9066
période 4 (12-14) s	A1-A5	1.0215	0.6455	0.7709
	B1-B5	0.9787	0.4065	0.8879

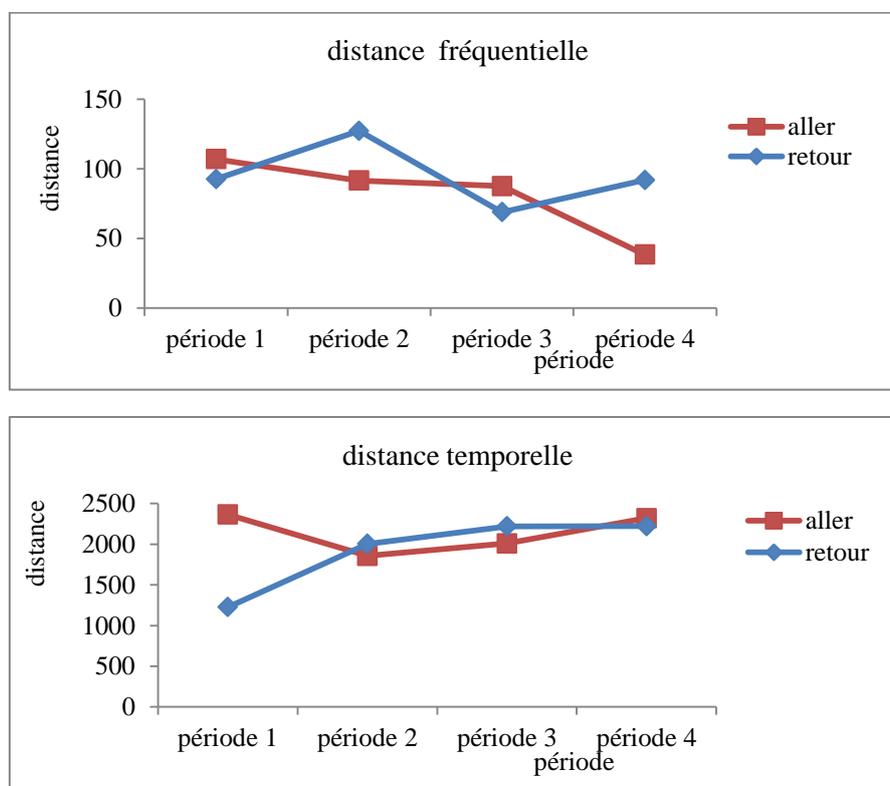
**Figure 148 : Distance de différence entre les allers et les retours pour satin 5 – marche**

La distance de différence à la vitesse de course est présentée dans le Tableau 124 et la Figure 149. Cette distance est plus similaire en fonction du temps dans le domaine temporel, l'aller et le retour contient une énergie similaire à la vitesse de course. La distance de différence entre les allers eux-mêmes diminue en fonction du temps dans le domaine fréquentiel contrairement au domaine temporel. Cette distance a la tendance d'augmenter pour des périodes importantes.

La variation du contenu d'énergie entre les allers et les retours pour les armures satin 5 et satin 4 est similaire dans le domaine temporel.

Tableau 124 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure satin 5 -course

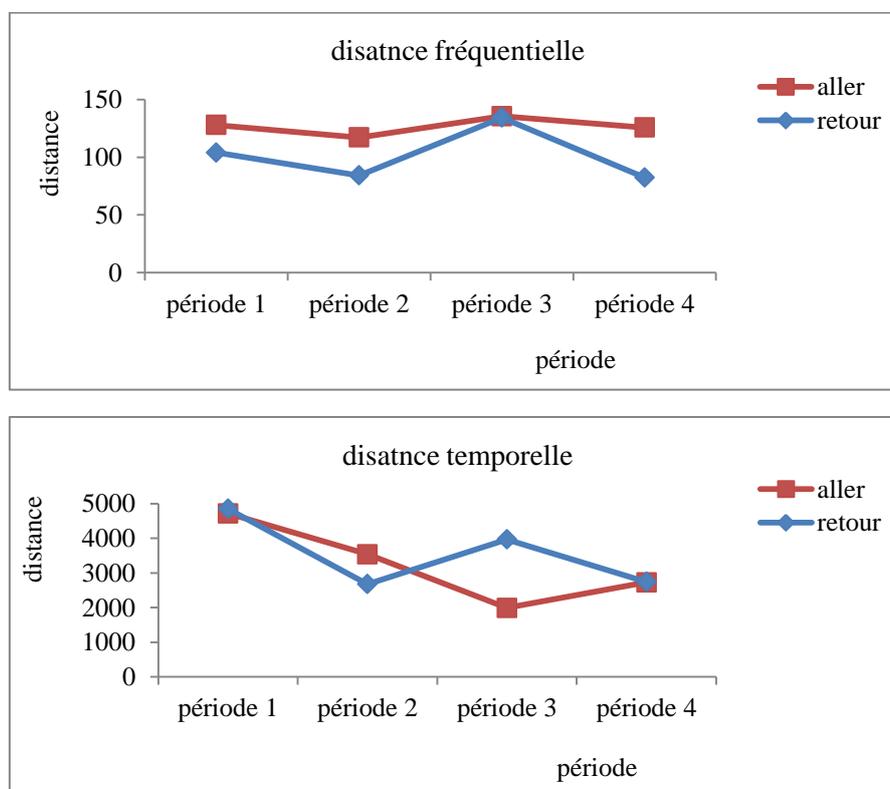
distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	2,3677e+03	107,0234	2,3653e+03
	B1-B2	1,2293e+03	92,6391	1,2258e+03
période 2 (8-10)	A1-A3	1,8596e+03	91,5751	1,8573e+03
	B1-B3	2,0084e+03	127,2635	2,0043e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	2,0116e+03	87,6470	2,0097e+03
	B1-B4	2,2209e+03	68,9057	2,2198e+03
période 4 (12-14) s	A1-A5	2,3199e+03	38,4187	2,3196e+03
	B1-B5	2,2240e+03	91,9783	2,2221e+03

**Figure 149 : Distance de différence entre les allers et les retours pour satin 5- course**Distance de différence entre les allers, les retours pour l'armure sergé 4

La différence entre les segments d'aller et de retour du signal sonore généré, à la vitesse de marche, est présentée dans le Tableau 125 et la Figure 150. La distance de différence entre les allers eux-mêmes est similaire dans le domaine fréquentiel tandis qu'elle a la tendance à diminuer avec le temps dans le domaine temporel. Les allers et les retours sont homogènes dans les deux domaines (fréquentiel et temporel) surtout pour des périodes plus importantes. La différence dans le domaine temporel est plus importante que celle-ci dans le domaine fréquentiel.

Tableau 125 : Distance de référence entre les allers et les retours pour l'armure sergé 4- marche

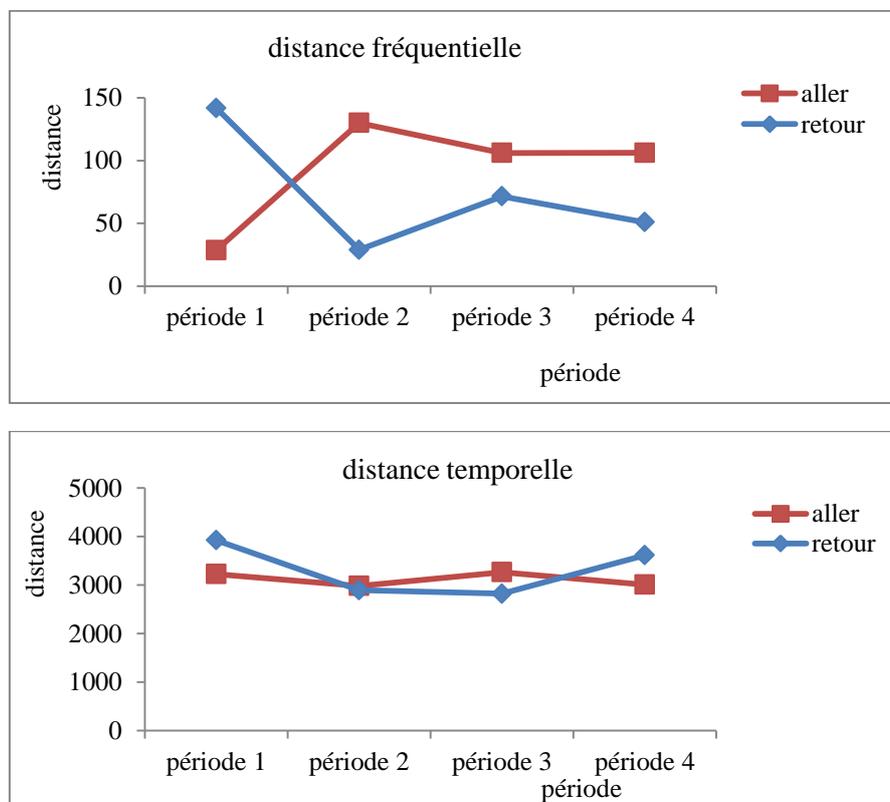
distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	4,7243e+03	127,9609	4,7225e+03
	B1-B2	4,8556e+03	104,0385	4,8545e+03
période 2 (8-10)	A1-A3	3,5417e+03	117,1751	3,5398e+03
	B1-B3	2,6804e+03	84,2615	2,6791e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	1,9956e+03	135,5212	1,9910e+03
	B1-B4	3,9717e+03	134,3056	3,9695e+03
période 4 (12-14) s	A1-A5	2,7317e+03	125,6821	2,7288e+03
	B1-B5	2,7456e+03	82,4015	2,7444e+03

**Figure 150 : Distance de différence entre les allers et les retours pour sergé 4- marche**

Cette différence d'énergie, à la vitesse de course est présentée dans le Tableau 126 et la Figure 151.

Tableau 126 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure sergé 4 - course

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	3,2277e+03	28 ,5307	3,2276e+03
	B1-B2	3,9272e+03	141,7604	3,9246e+03
période 2 (8-10)	A1-A3	2,9879e+03	130,0154	2,9850e+03
	B1-B3	2,8954e+03	28,8791	2,8953e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	3,2696e+03	106	3,2678e+03
	B1-B4	2,8225e+03	71,4423	2,8216e+03
période 4 (12-14) s	A1-A5	3,0101e+03	106,2262	3,0082e+03
	B1-B5	3,6149e+03	50,8527	3,6145e+03

**Figure 151 : Distance entre les allers et les retours pour sergé 4- course**

Cette différence, dans le domaine fréquentiel, varie en fonction du temps surtout pour les premières périodes. Les allers et les retours sont plutôt homogènes dans le domaine temporel. L'armure sergé 4 ressemble à l'armure sergé 3 en termes de la variation le contenu d'énergie, cette différence reste la plus importante en comparaison avec les autres armures. Ceci confirme que le bruit de ces deux armures est un bruit dysharmonique.

Distance de différence entre les allers, les retours pour l'armure toile :

Pour la vitesse de marche, les allers et les retours deviennent plus similaires pour les périodes plus importantes dans le domaine fréquentiel (Figure 152). La différence du contenu d'énergie diminue en fonction du temps dans le domaine temporel.

Tableau 127 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure toile - marche

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	1,9747e+03	235,5971	1,9606e+03
	B1-B2	3,9796e+03	66,8281	3,9790e+03
période 2 (8-10)	A1-A3	2,0750e+03	117,5074	2,0716e+03
	B1-B3	1,8502e+03	139,1402	1,8450e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	3,0848e+03	153,8961	3,0809e+03
	B1-B4	669,3639	103,4601	661,3199
période 4 (12-14) s	A1-A5	2,3234e+03	138,4847	2,3192e+03
	B1-B5	1,4467e+03	125,1159	1,4413e+03

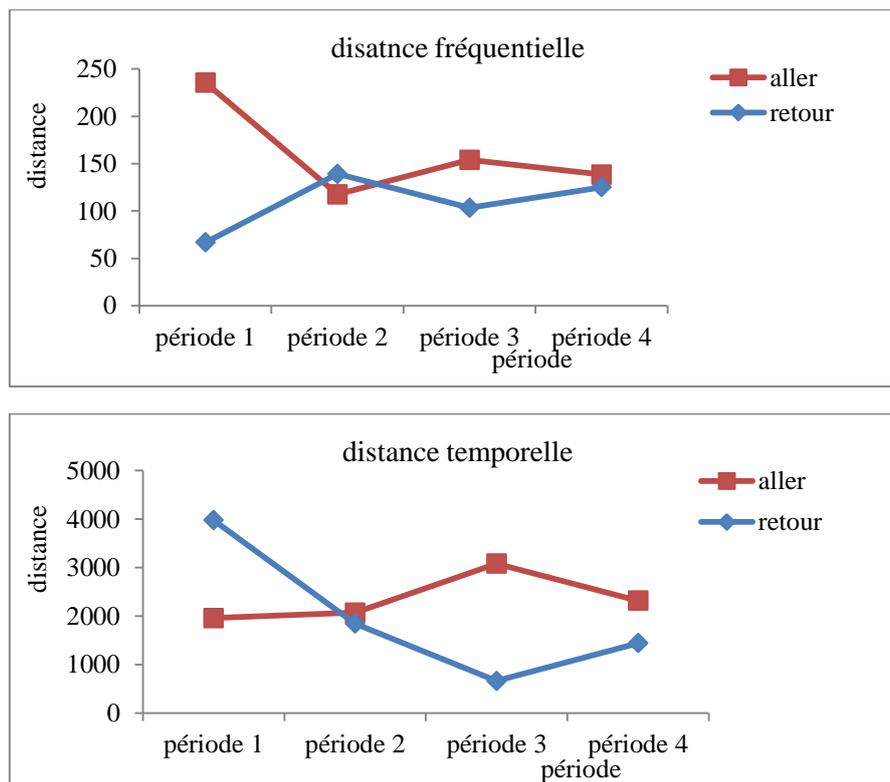


Figure 152 : Distance de différence entre les allers et les retours pour toile – marche

Pour la vitesse de course, nous constatons dans la Figure 153 que les allers et les retours sont similaires dans les deux domaines, fréquentiel et temporel. La variation du contenu d'énergie des segments d'aller et des segments de retour, pour différentes locales du signal sonore, reste homogène avec des valeurs importantes.

Cette différence d'énergie aux deux vitesses de frottement est très importante, le bruit de l'armure toile présente un signal sonore avec une fluctuation très importante. La fluctuation du bruit qui provoque l'inconfort devient moins important au fur et à mesure du frottement.

Tableau 128 : Distance de différence entre les allers et les retours pour l'armure toile - course

distance entre la période de référence et les autres périodes		distance totale	distance dans le domaine fréquentiel	distance dans le domaine temporel
période 1 (6-8) s	A1-A2	1,2743e+03	144,2429	1,2661e+03
	B1-B2	1,5532e+03	150,2531	1,5459e+03
période 2 (8-10)	A1-A3	1,3746e+03	154,5704	1,3659e+03
	B1-B3	1,2321e+03	151,7103	1,2227e+03
période 3 (10-12) s	A1-A4	1,0051e+03	181,7196	988,4877
	B1-B4	2,5975e+03	191,9740	2,5903e+03
période 4 (12-14) s	A1-A5	1,3431e+03	105,7071	1,3389e+03
	B1-B5	1,7801e+03	145,4029	1,7742e+03

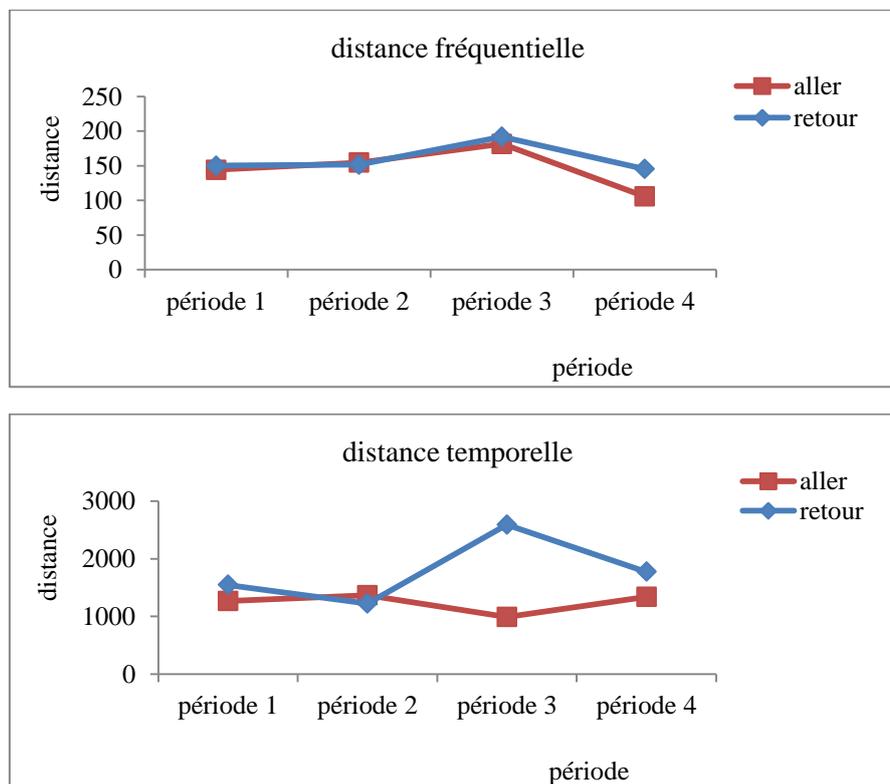


Figure 153 : Distance de différence entre les allers et les retours pour toile – course

ANNEXE 9

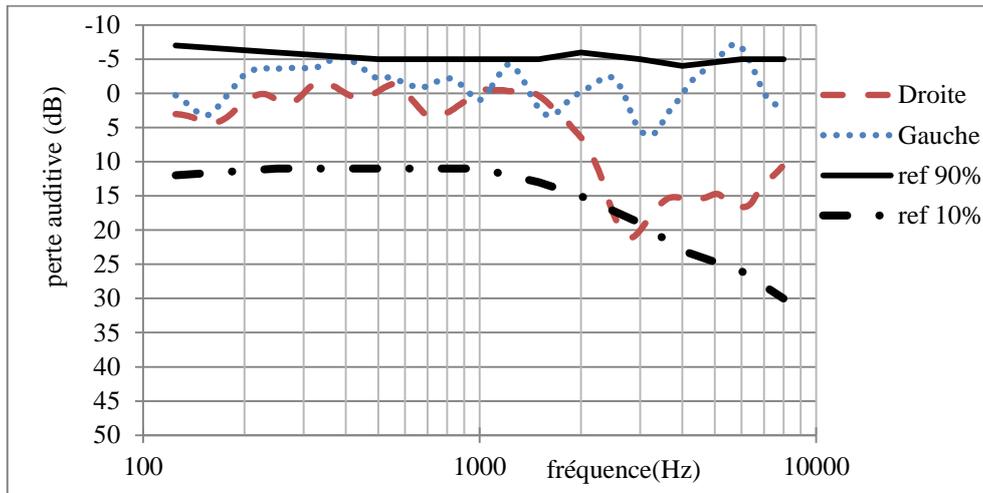
(Test audiogramme des panélistes)

Figure 154 : Test d'audiogramme du panéliste P1

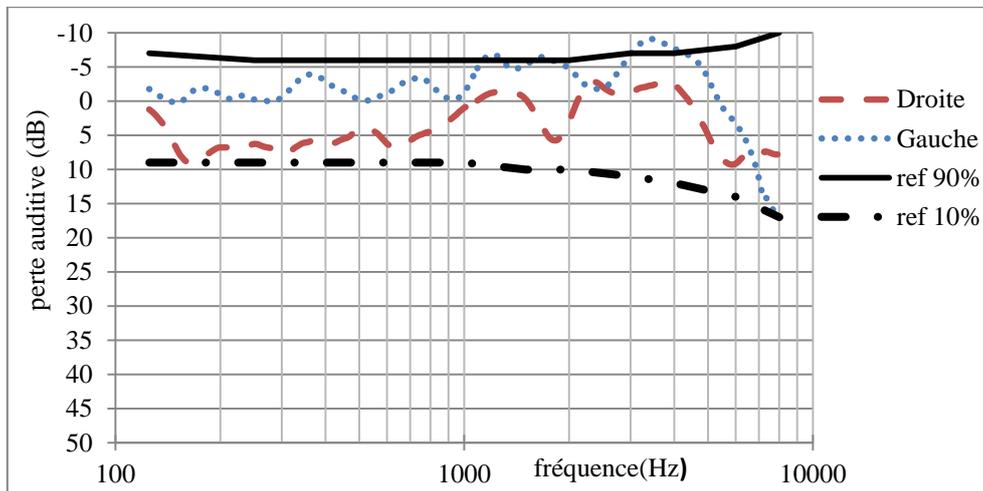


Figure 155 : Test d'audiogramme du panéliste P2

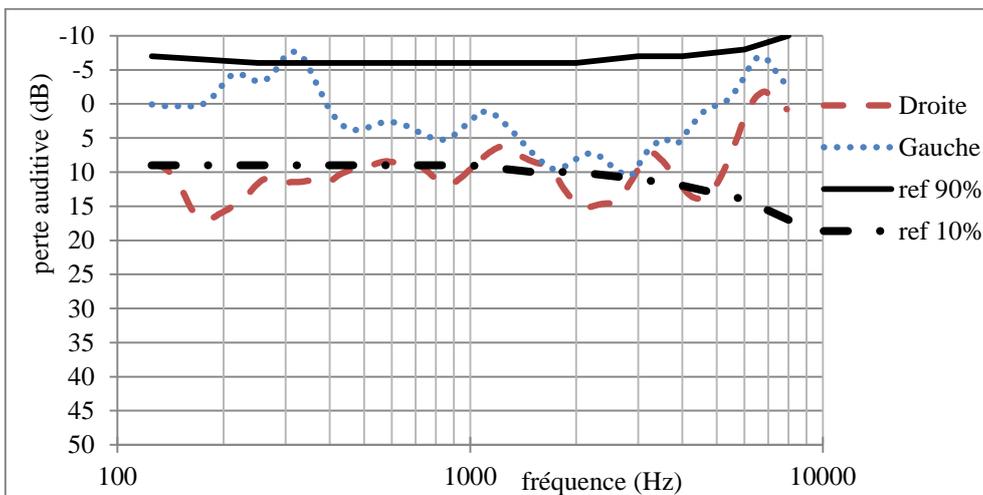


Figure 156 : Test d'audiogramme du panéliste P3

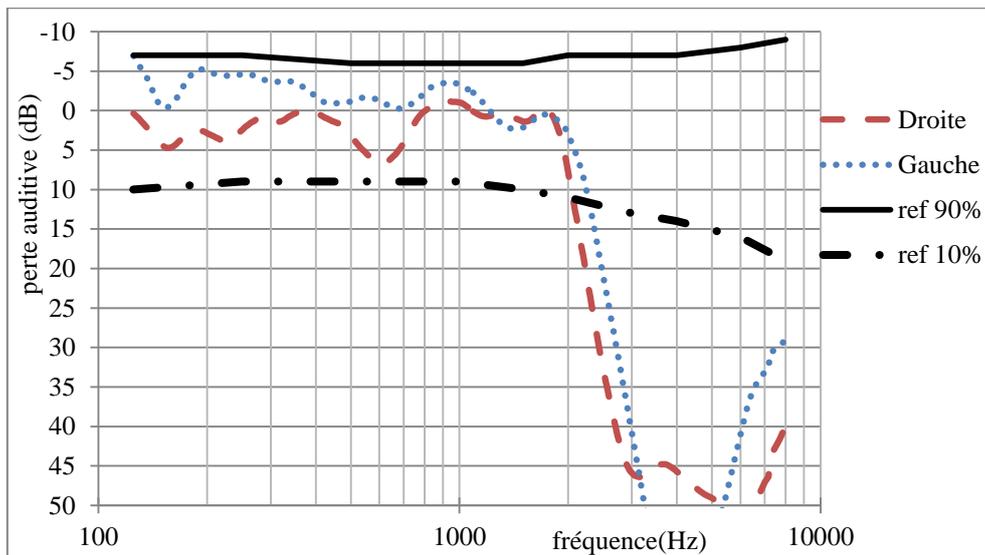


Figure 157 : Test d'audiogramme du panéliste P4

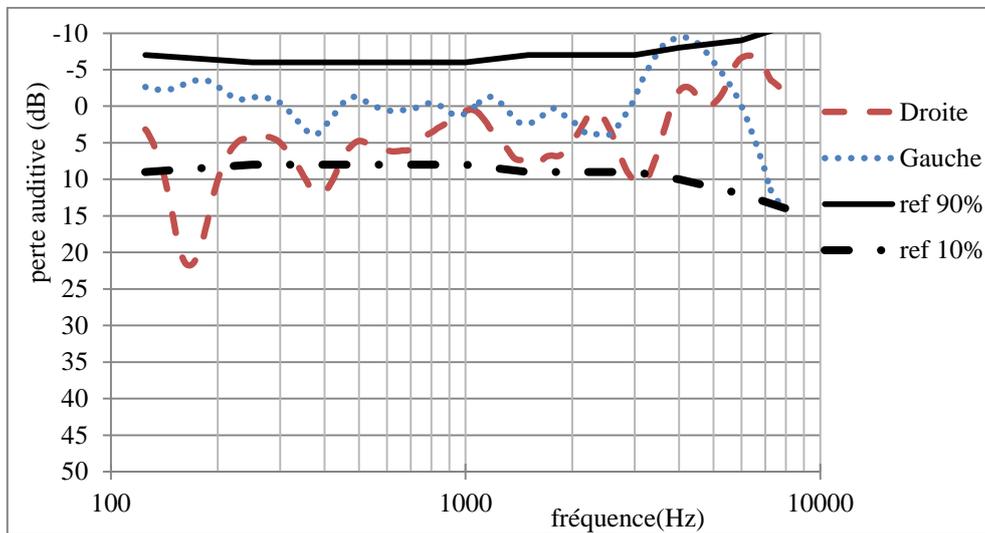


Figure 158 : Test d'audiogramme du panéliste P5

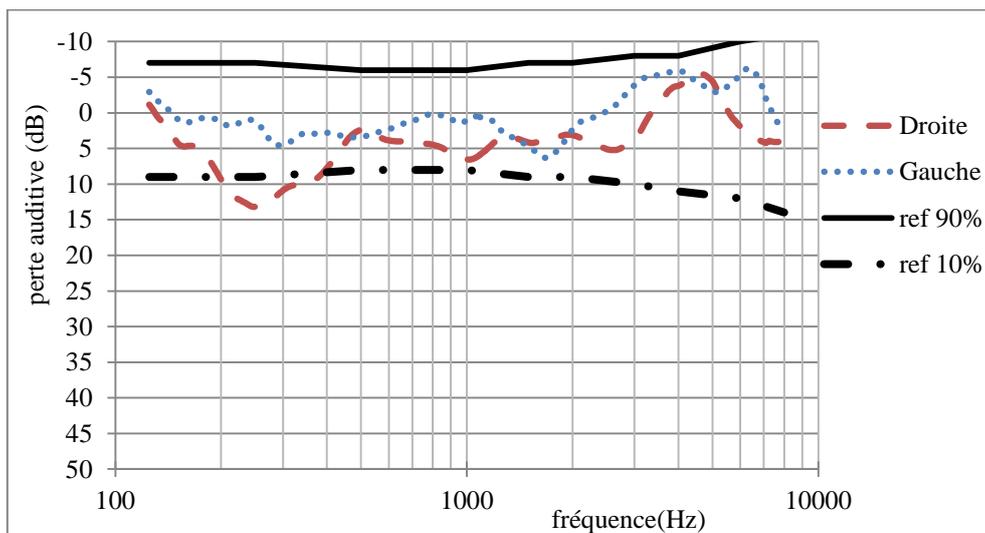


Figure 159 : Test d'audiogramme du panéliste P6

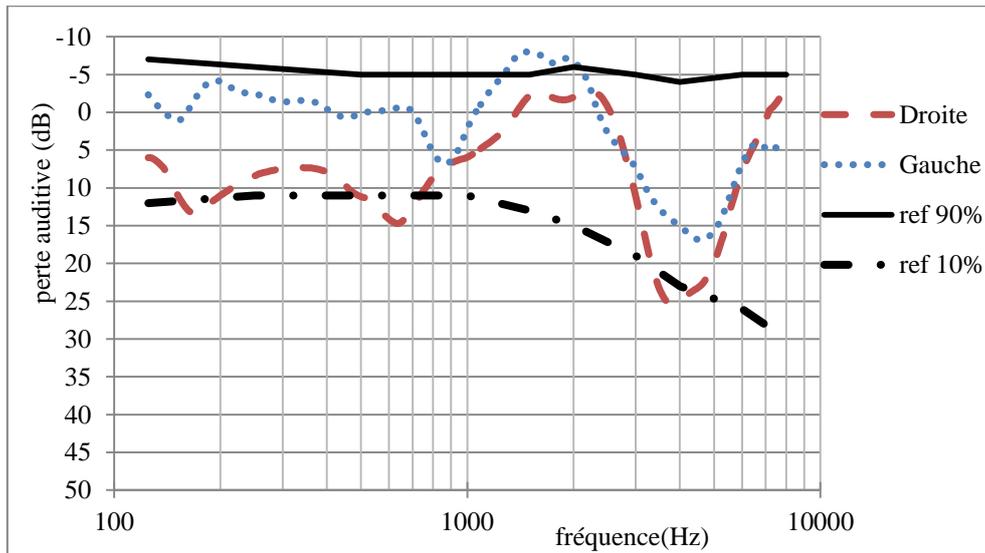


Figure 160 : Test d'audiogramme du panéliste P8

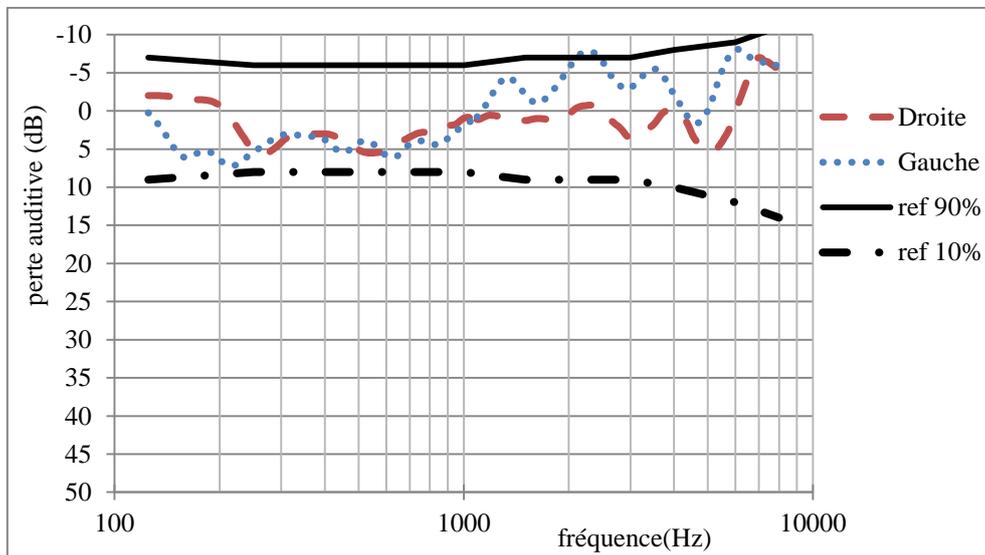


Figure 161 : Test d'audiogramme du panéliste P9

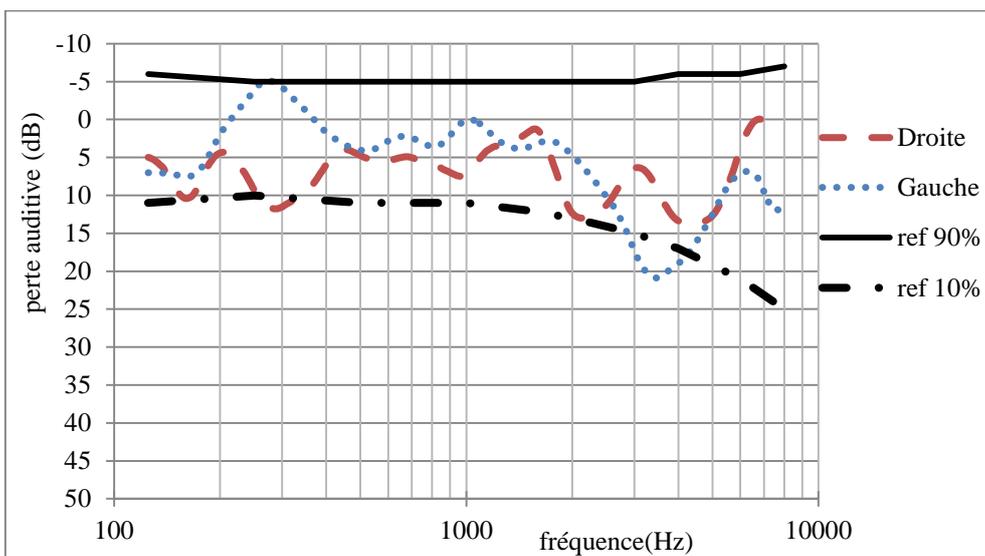


Figure 162 : Test d'audiogramme du panéliste P10

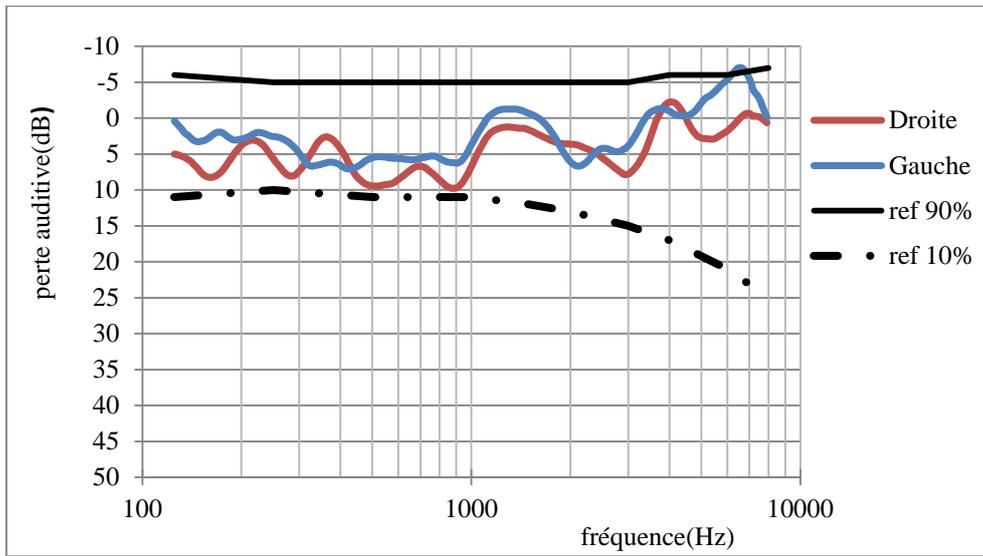


Figure 163 : Test d'audiogramme du panéliste P11

ANNEXE 10

(Corrélation des descripteurs)

Tableau 129 : Coefficient de corrélation des descripteurs descriptifs

descripteur descripteur	abrasif	aigu	chuintant	couinant	crissant	disharmonique	énergique	graduel	grattage	grave	grinçant	homogène	intensif	lent	limant	lisse	monotone	peinant	polyphonique	pur	râpant	rapide	résonant	rythmé	sciage	sifflant		
abrasif	1,00																											
aigu	0,22	1,00																										
chuintant	0,24	0,73	1,00																									
couinant	0,12	0,82	0,60	1,00																								
crissant	0,35	0,63	0,50	0,46	1,00																							
disharmonique	0,74	0,31	0,45	0,37	0,24	1,00																						
énergique	0,28	0,47	0,14	0,37	0,35	0,14	1,00																					
graduel	0,29	-0,18	-0,09	-0,18	0,23	0,22	-0,49	1,00																				
grattage	0,51	0,31	0,18	0,13	0,19	0,21	0,52	-0,10	1,00																			
grave	-0,10	-0,85	-0,50	-0,86	-0,56	-0,16	-0,58	0,32	-0,16	1,00																		
grinçant	0,24	0,63	0,28	0,57	0,40	0,20	0,22	0,08	0,11	-0,53	1,00																	
homogène	-0,38	-0,14	-0,26	-0,15	-0,20	-0,58	-0,06	-0,61	-0,14	-0,09	-0,17	1,00																
intensif	0,15	0,73	0,47	0,48	0,57	0,01	0,69	-0,47	0,45	-0,65	0,50	0,20	1,00															
lent	-0,01	0,11	0,14	0,21	-0,07	0,18	-0,62	0,56	-0,32	-0,02	0,22	-0,16	-0,35	1,00														
limant	0,20	0,28	0,09	0,08	-0,10	-0,01	0,10	0,27	0,53	-0,08	0,39	-0,36	0,14	0,21	1,00													
lisse	-0,55	0,40	0,26	0,12	0,14	-0,38	-0,03	-0,19	-0,10	-0,32	-0,10	0,19	0,19	0,08	0,13	1,00												
monotone	-0,64	-0,35	-0,58	-0,34	-0,36	-0,79	-0,32	-0,21	-0,26	0,16	-0,20	0,77	-0,15	0,13	-0,17	0,30	1,00											
peinant	0,12	-0,11	-0,07	-0,10	0,00	0,18	-0,48	0,81	-0,25	0,21	0,07	-0,47	-0,51	0,80	0,21	-0,06	0,00	1,00										
polyphonique	0,80	0,36	0,50	0,30	0,47	0,83	0,26	0,30	0,32	-0,21	0,31	-0,64	0,09	-0,03	0,09	-0,35	-0,83	0,16	1,00									
pur	-0,17	0,22	-0,02	0,13	0,33	-0,11	0,10	0,02	0,13	-0,15	0,34	-0,14	0,16	-0,33	0,08	0,31	-0,03	-0,27	0,14	1,00								
râpant	0,83	0,06	0,16	0,00	0,07	0,45	0,13	0,29	0,55	0,09	0,18	-0,33	-0,03	0,02	0,39	-0,56	-0,45	0,19	0,62	-0,23	1,00							
rapide	-0,09	0,22	0,13	0,03	0,25	-0,24	0,69	-0,71	0,23	-0,30	-0,09	0,43	0,74	-0,71	-0,27	0,14	0,05	-0,72	-0,18	-0,04	-0,24	1,00						
résonnant	0,38	0,00	0,18	0,26	0,33	0,51	-0,35	0,64	-0,30	-0,04	0,21	-0,47	-0,42	0,44	-0,22	-0,41	-0,40	0,53	0,59	0,04	0,32	-0,63	1,00					
rythmé	0,56	0,19	0,38	-0,08	0,04	0,36	0,36	-0,39	0,39	-0,07	-0,13	0,09	0,36	-0,39	0,09	-0,09	-0,44	-0,46	0,35	-0,31	0,44	0,46	-0,30	1,00				
sciage	-0,08	0,43	0,06	0,25	-0,03	-0,19	0,30	-0,33	0,34	-0,34	0,68	0,24	0,63	0,03	0,53	0,12	0,21	-0,22	-0,20	0,15	-0,05	0,27	-0,51	0,04	1,00			
sifflant	-0,43	0,63	0,39	0,74	0,34	-0,16	0,32	-0,25	-0,08	-0,69	0,43	-0,10	0,37	-0,01	0,05	0,46	-0,05	-0,14	-0,04	0,43	-0,38	0,12	0,03	-0,41	0,23	1,00		
sourd	-0,57	-0,78	-0,59	-0,70	-0,43	-0,50	-0,46	0,00	-0,44	0,63	-0,74	0,39	-0,50	-0,08	-0,47	0,12	0,59	-0,01	-0,65	-0,12	-0,57	0,04	-0,25	-0,28	-0,37	-0,40	1,00	

ANNEXE 11

(Répétabilité des panélistes)

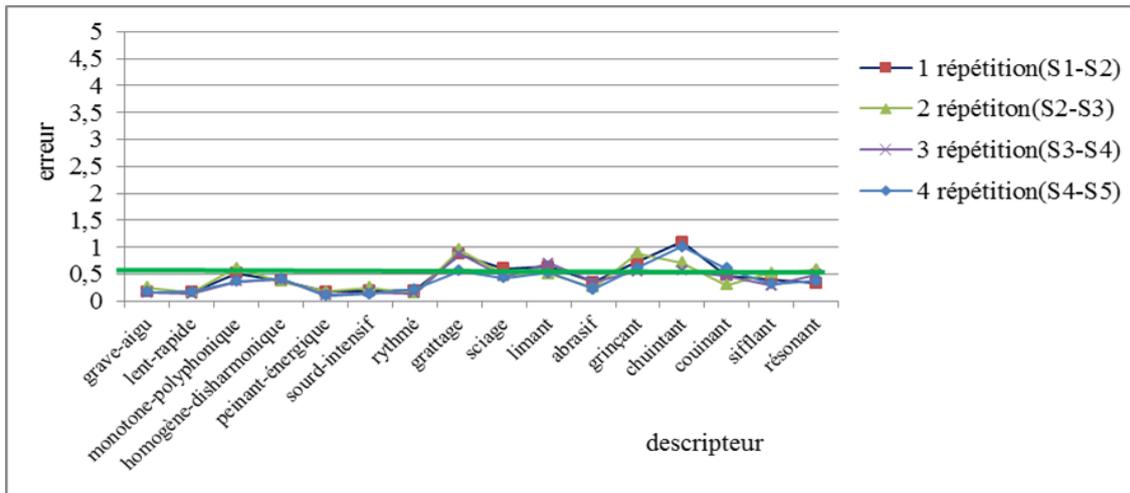


Figure 164 : Répétabilité du panéliste P1-marche

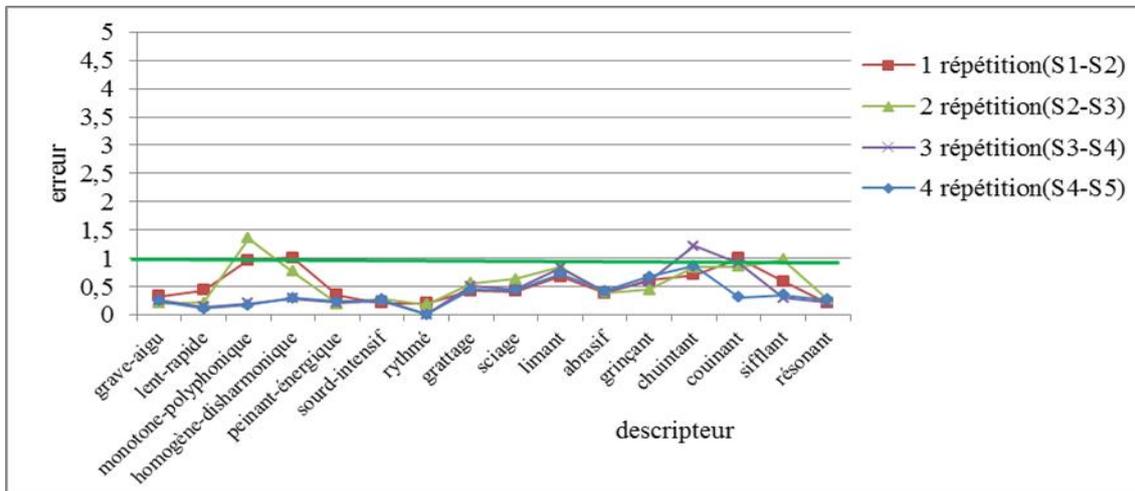


Figure 165 : Répétabilité du panéliste P3-marche

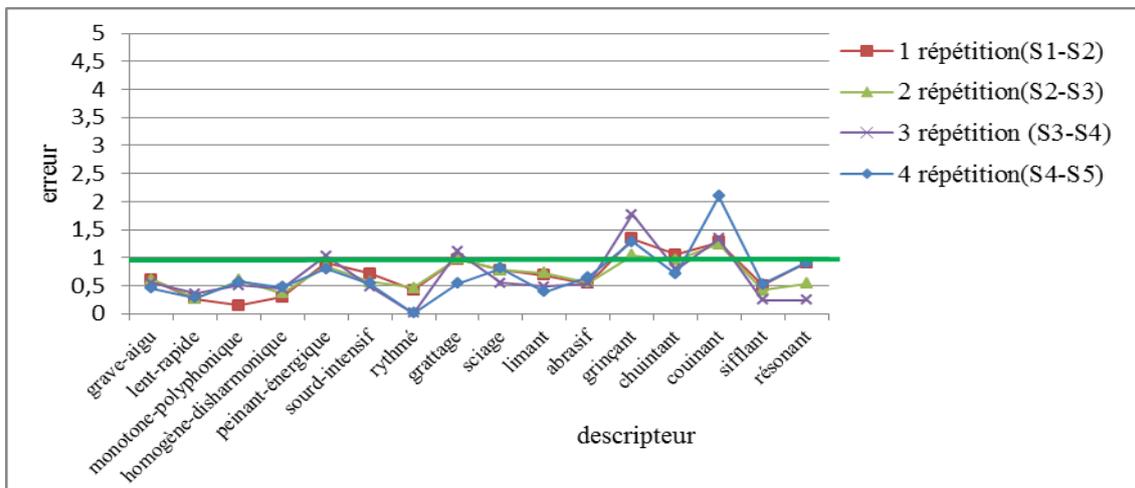


Figure 166 : Répétabilité du panéliste P4- marche

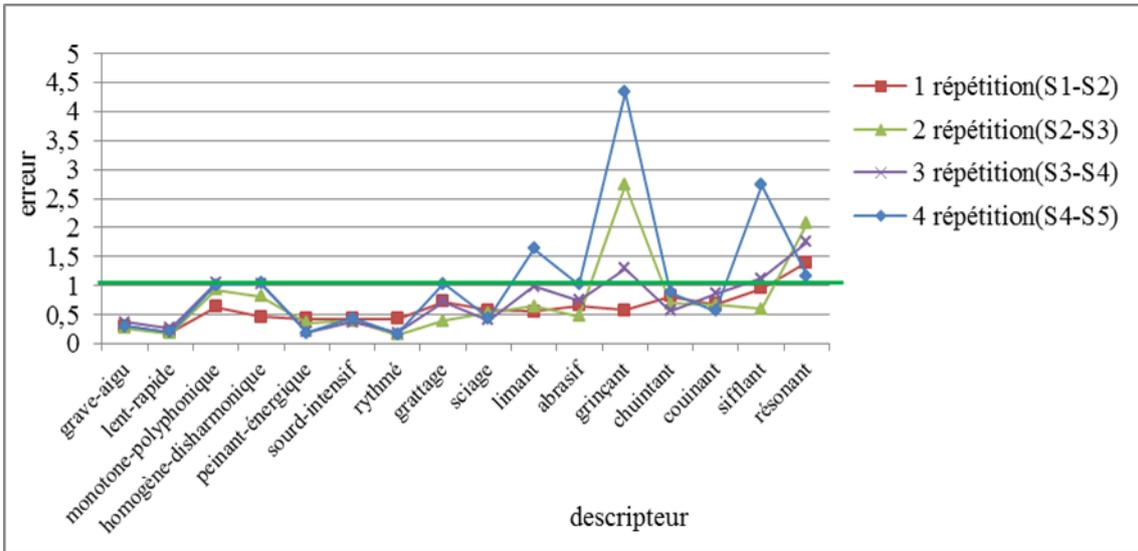


Figure 167 : Répétabilité du panéliste P9- marche

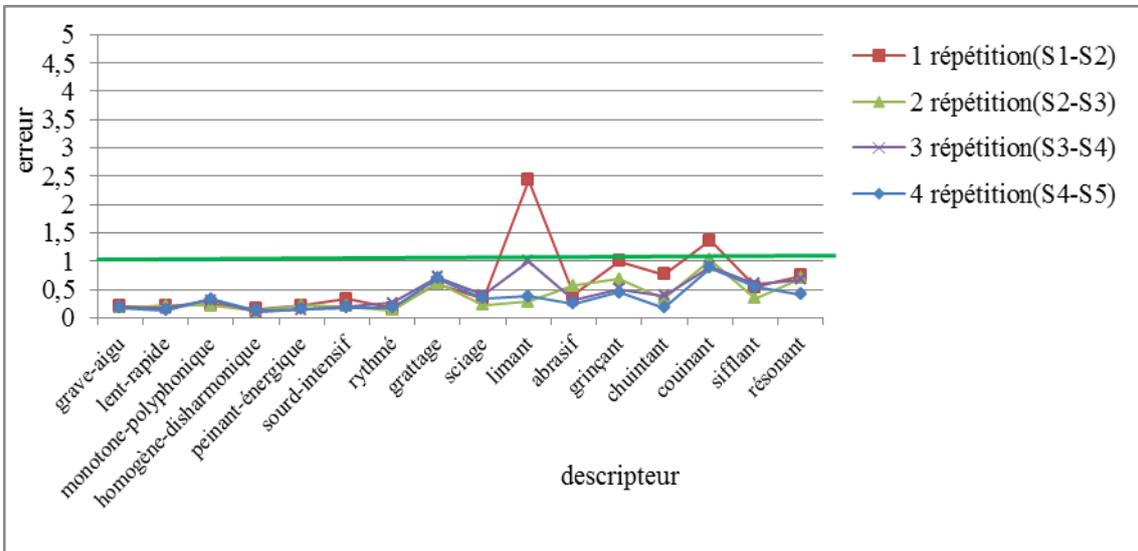


Figure 168 : Répétabilité du panéliste P10- marche

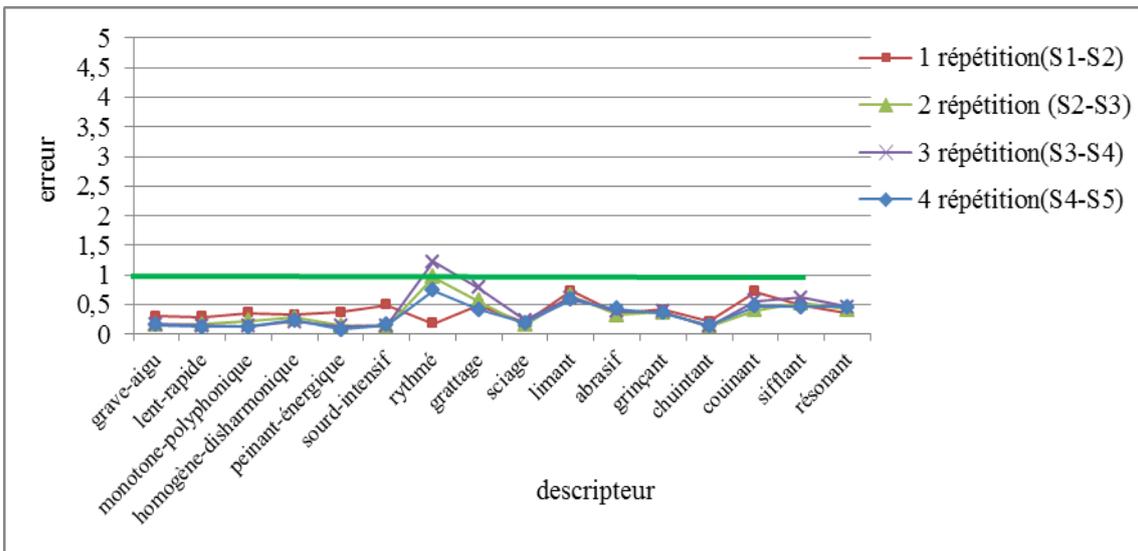


Figure 169 : Répétabilité du panéliste P11- marche

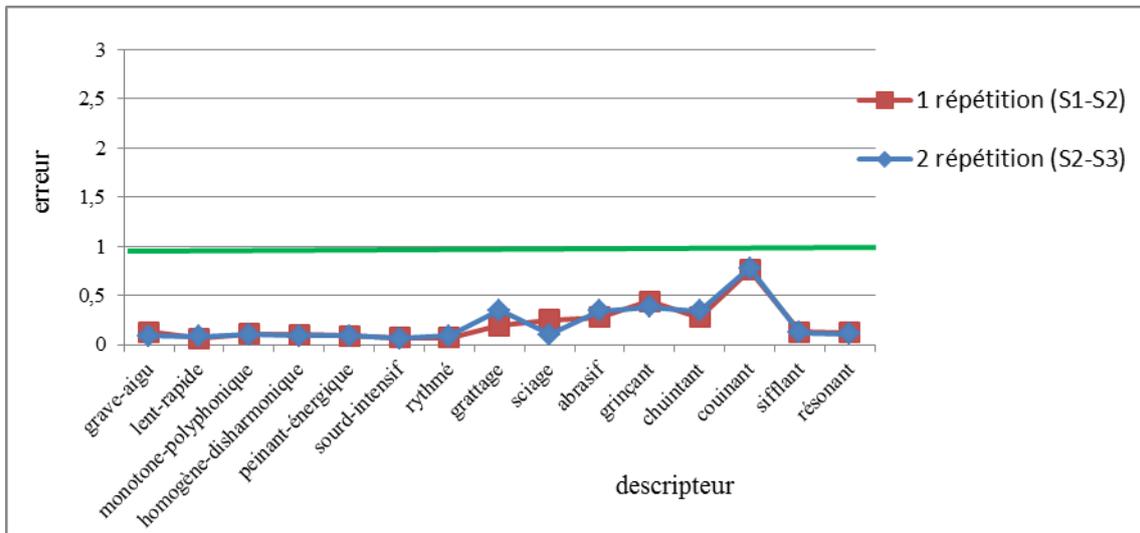


Figure 170 : Répétabilité du panéliste P1- course

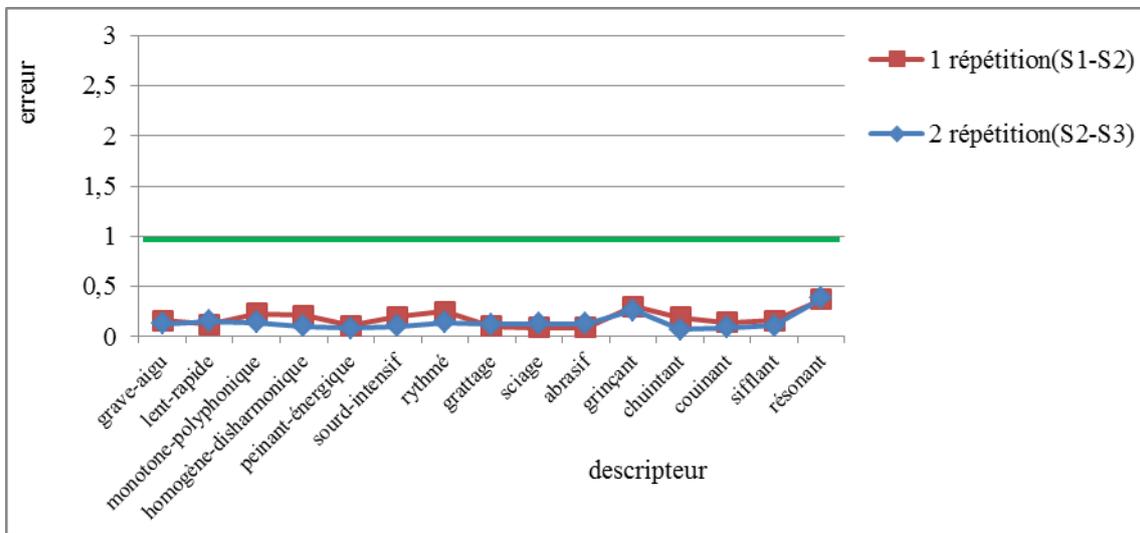


Figure 171 : Répétabilité du panéliste P2- course

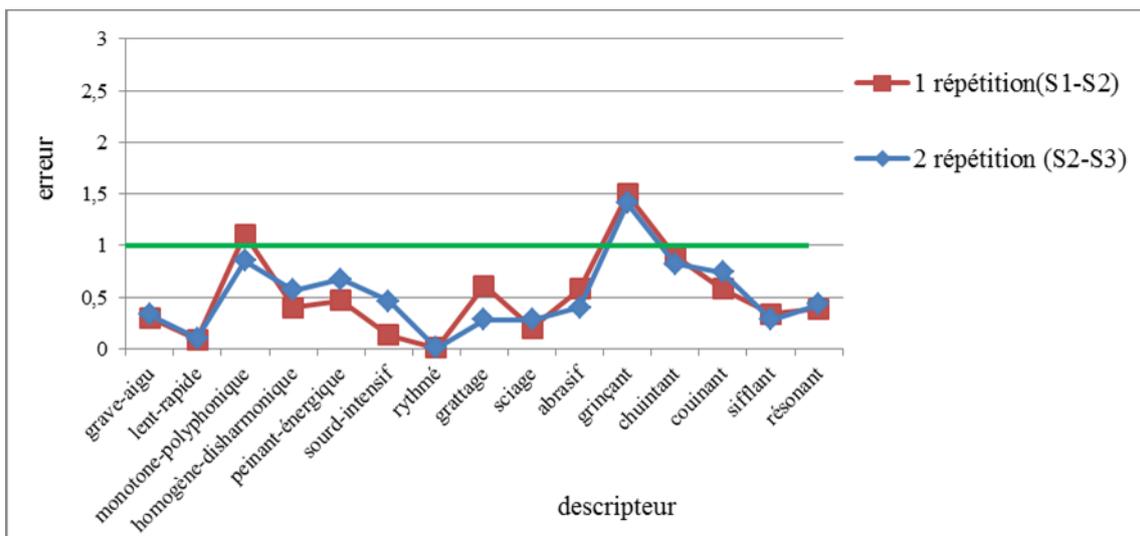


Figure 172 : Répétabilité du panéliste P4- course

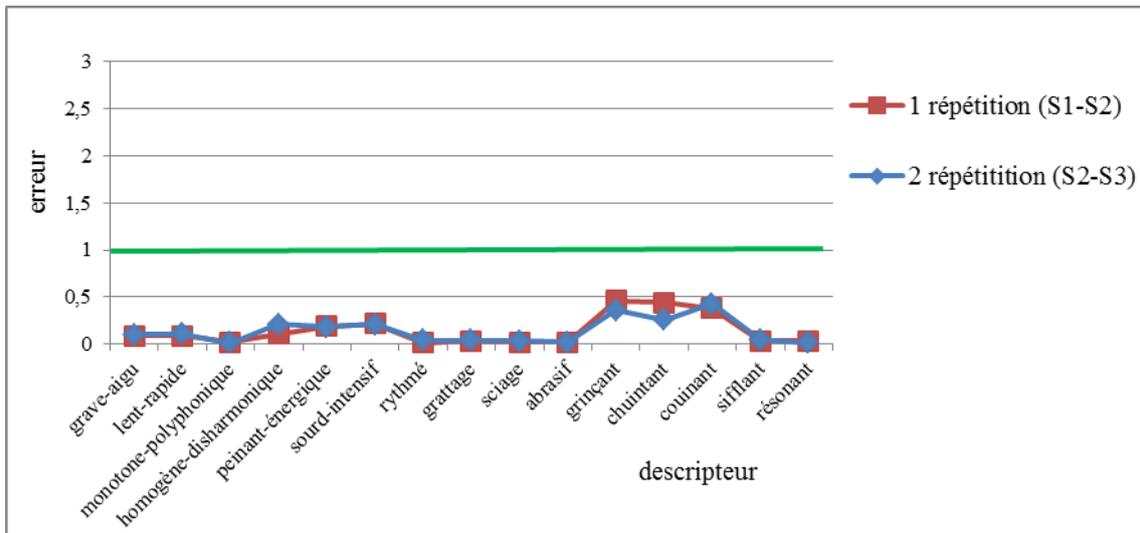


Figure 173 : Répétabilité du panéliste P5- course

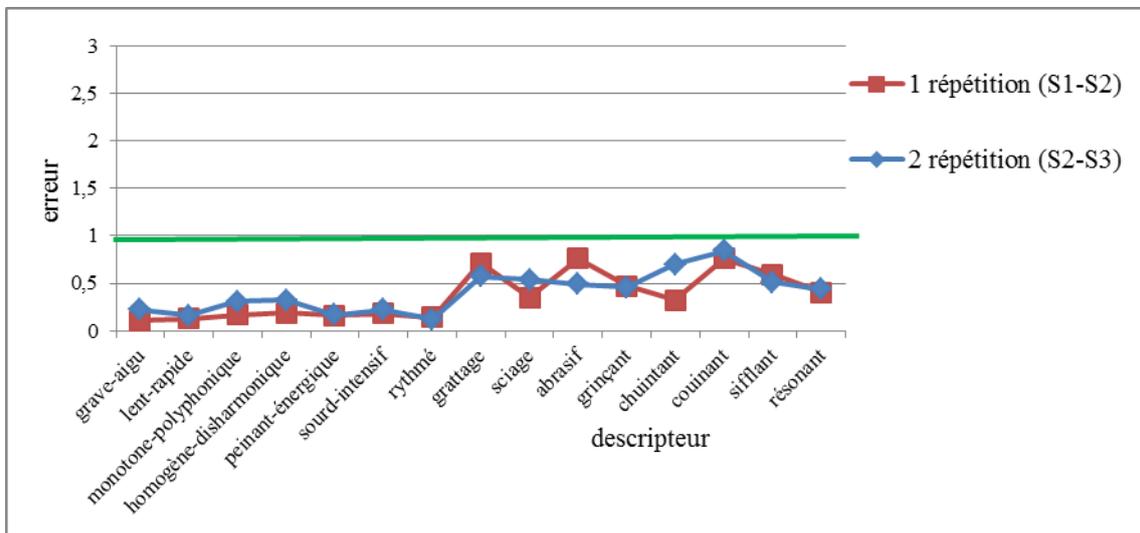


Figure 174 : Répétabilité du panéliste P6- course

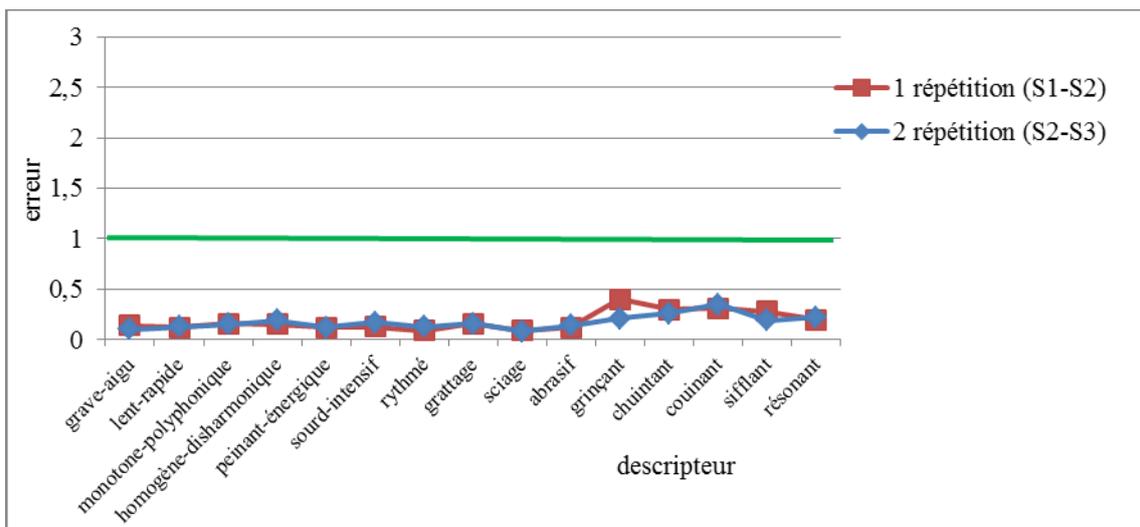


Figure 175 : Répétabilité du panéliste P7- course

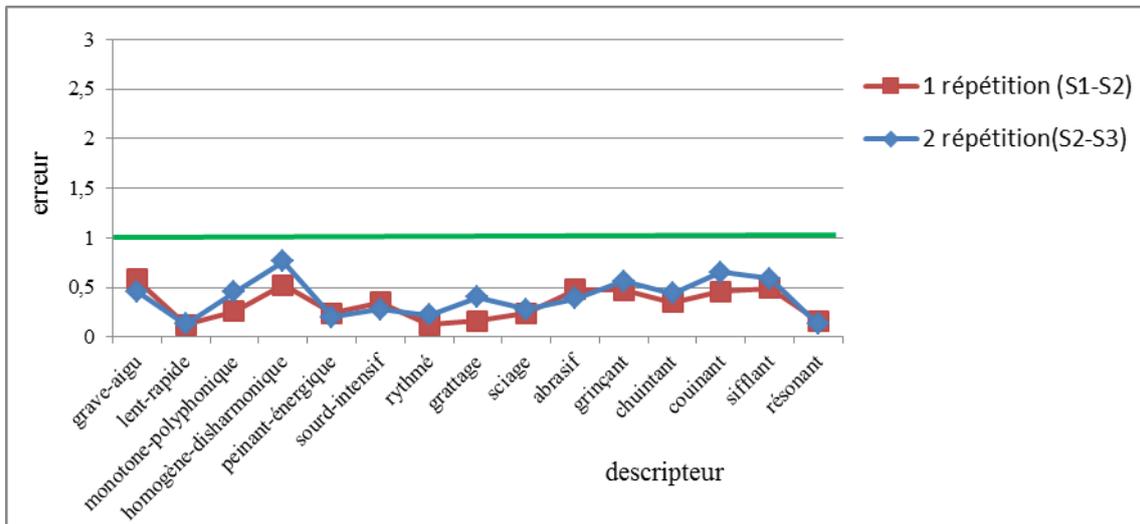


Figure 176 : Répétabilité du panéliste P8- course

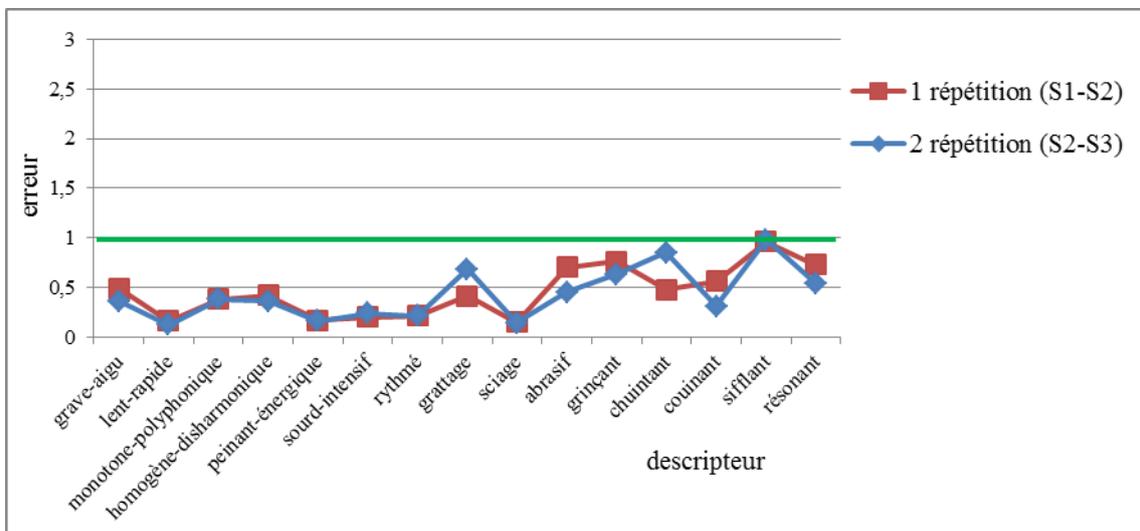


Figure 177 : Répétabilité du panéliste P9- course

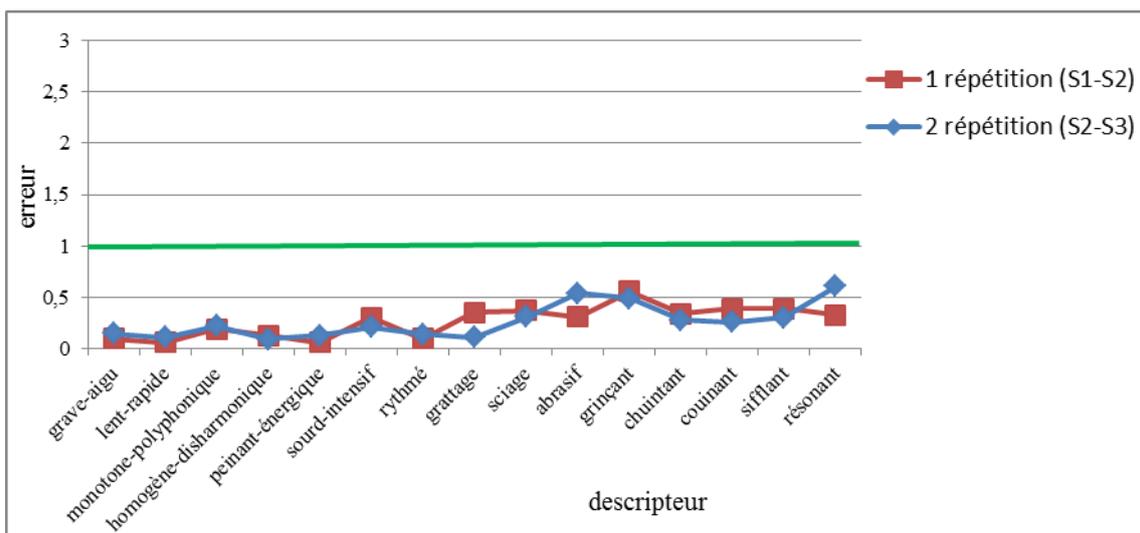


Figure 178 : Répétabilité du panéliste P10- course

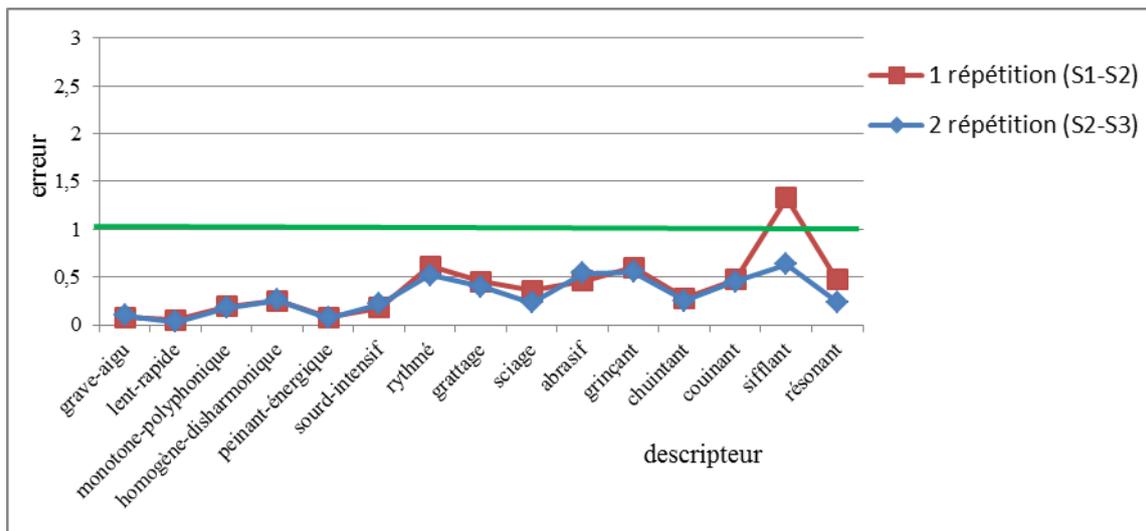


Figure 179 : Répétabilité du panéliste P11- course

ANNEXE 12

(Questionnaire auditif)

Séance 1

Caractérisation

Nom et prénom:.....

Produit N°:.....

Date:.....

1-Grave-Aigu



Grave

Aigu

2-Lent -Rapide



Lent

Rapide

3-Monotone-Polyphonique



Monotone

Polyphonique

4- Homogène-Disharmonique



Homogène

Disharmonique

5-Peinant-Energique



Peinant

Energique

6-Sourd-Intensif



Sourd

Intensif

7-Rythmé



Pas du tout rythmé

Extrêmement rythmé

8-Grattage



Pas du tout grattant

Extrêmement grattant

9-Sciage : le bruit provoqué au sciage du bois



Pas du tout sciant

Extrêmement sciant

10-Abrasisif : le bruit de frottement de papier de verre



Pas du tout abrasif

Extrêmement abrasif

11-Grinçant : le bruit de grincement de la porte



Pas du tout grinçant

Extrêmement grinçant

12-Chuintant : le bruit provoqué par le passage d'un gaz ou d'un liquide dans un orifice étroit. Le chuintement de chaussure.



Pas du tout chuintant

Extrêmement chuintant

13-Couinant : le bruit de couinement d'une chaise



Pas du tout couinant

Extrêmement couinant

14-Sifflant



Pas du tout sifflant

Extrêmement sifflant

15-Résonnant



Pas du tout résonnant

Extrêmement résonnant

ANNEXE 13

(Profils sensoriels des étoffes considérées comme références)

Le logiciel Tastel trace les profils sensoriels de six étoffes, au maximum, dans un seul graphe. Pour cela, nous avons divisé les étoffes en trois groupes.

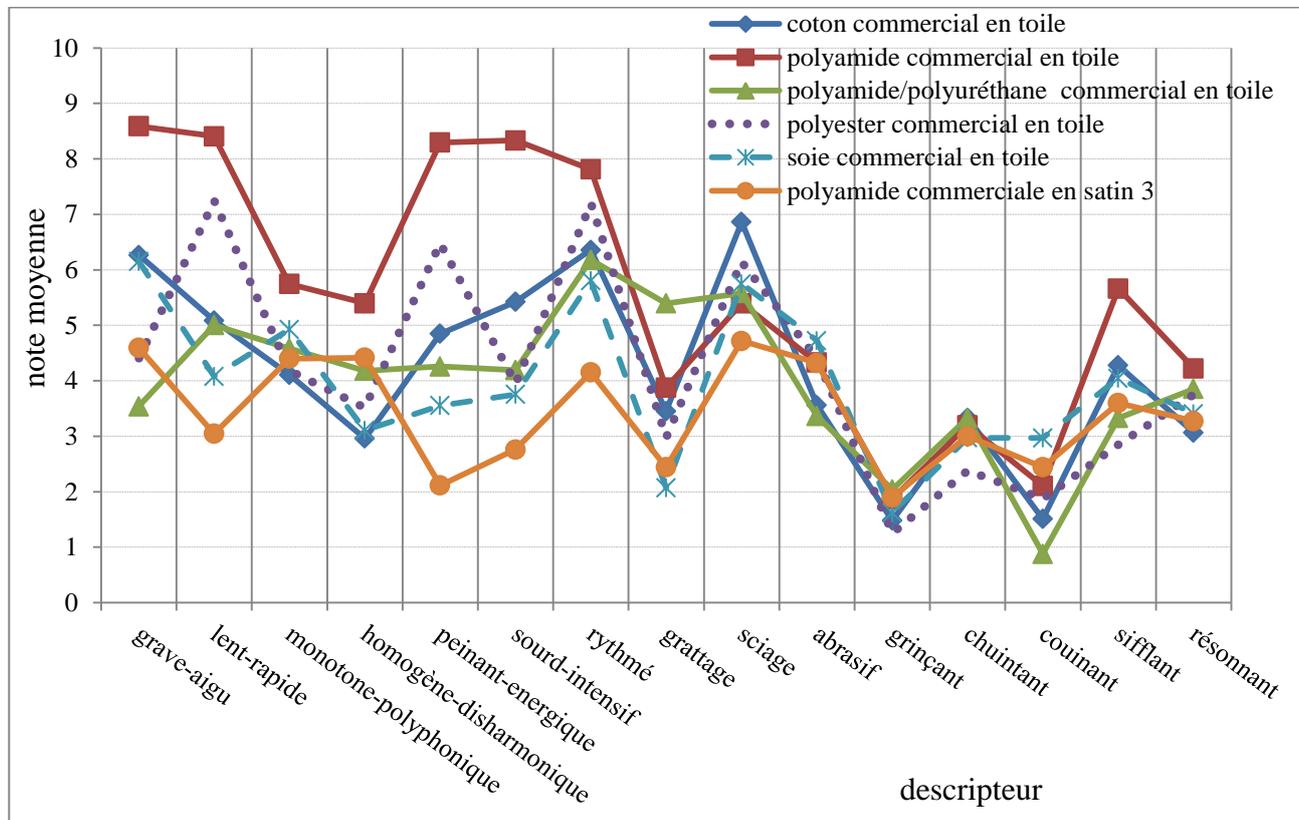


Figure 180 : Profil sensoriel de premier groupe des étoffes considérées comme références

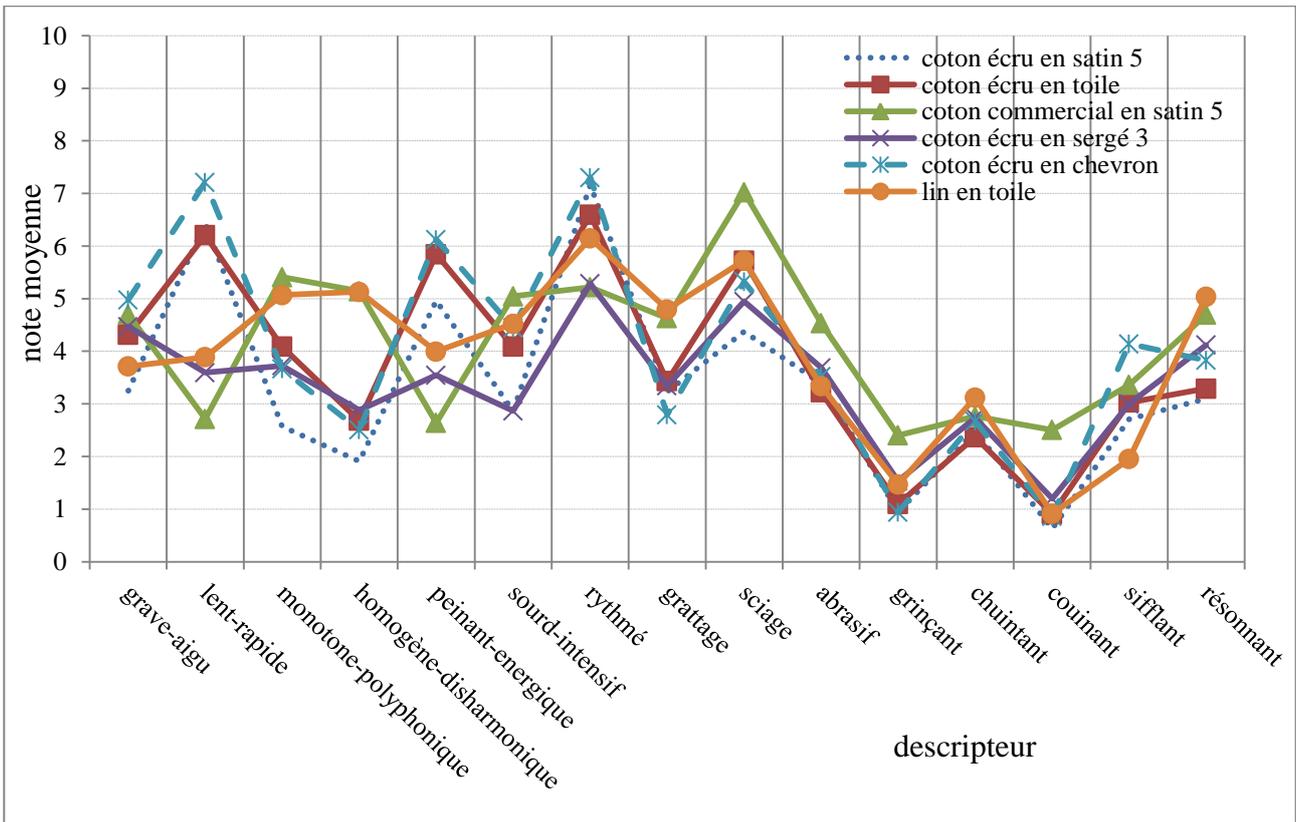


Figure 181 : Profil sensoriel de deuxième groupe des étoffes considérées comme références

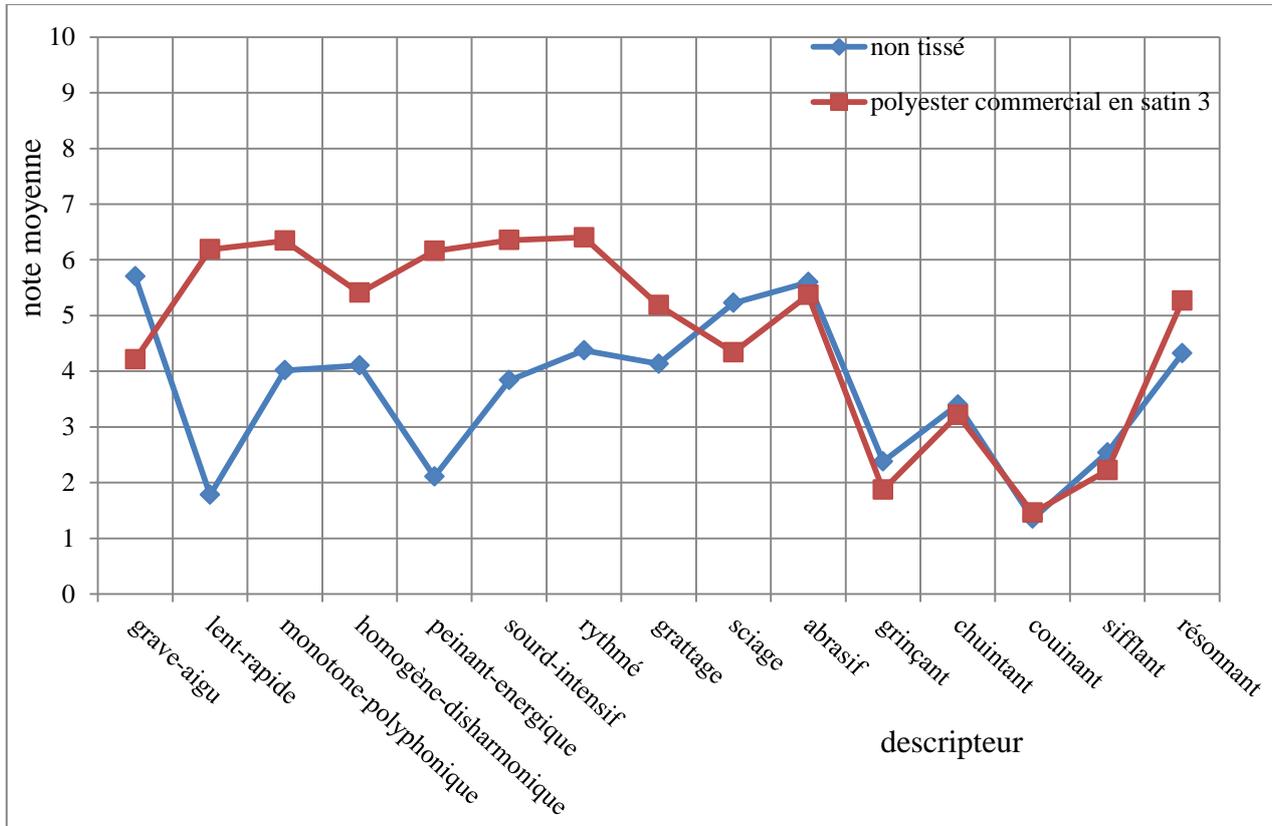


Figure 182 : Profil sensoriel de troisième groupe des étoffes considérées comme références

ANNEXE 14

(Comparaison les profils sensoriels des armures en coton écri pour les deux vitesses de frottement)

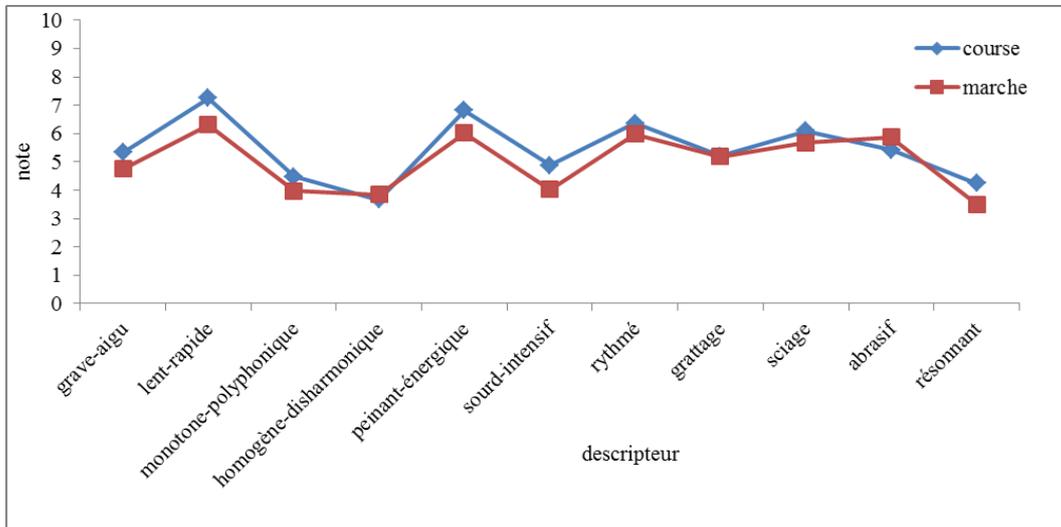


Figure 183 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure chevron pour les deux vitesses de frottement

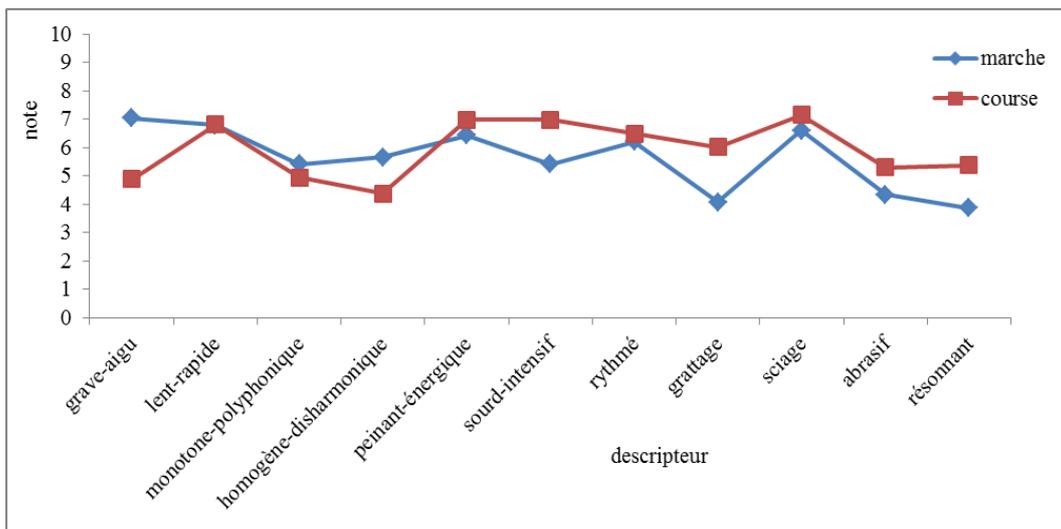


Figure 184 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure crêpe pour les deux vitesses de frottement

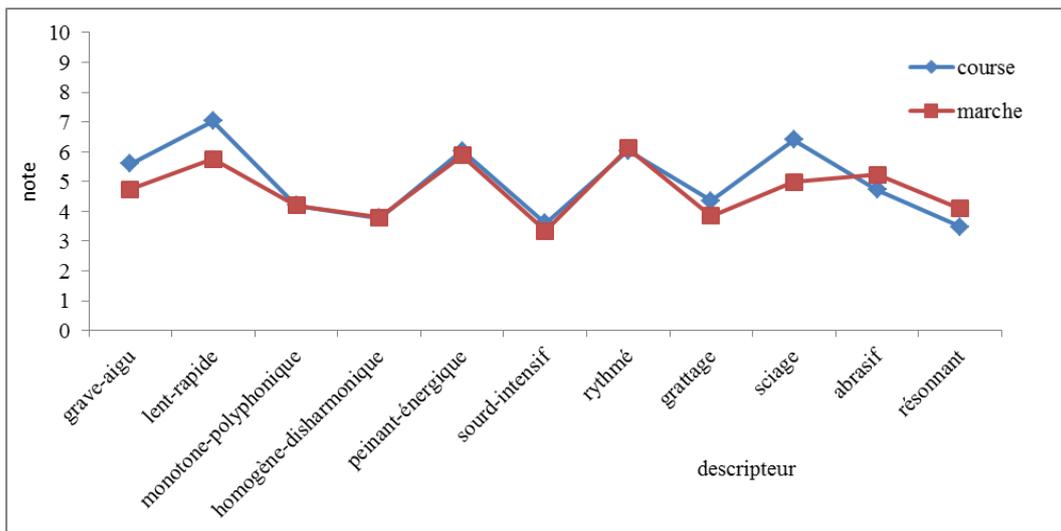


Figure 185 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure satin 4 pour les deux vitesses de frottement

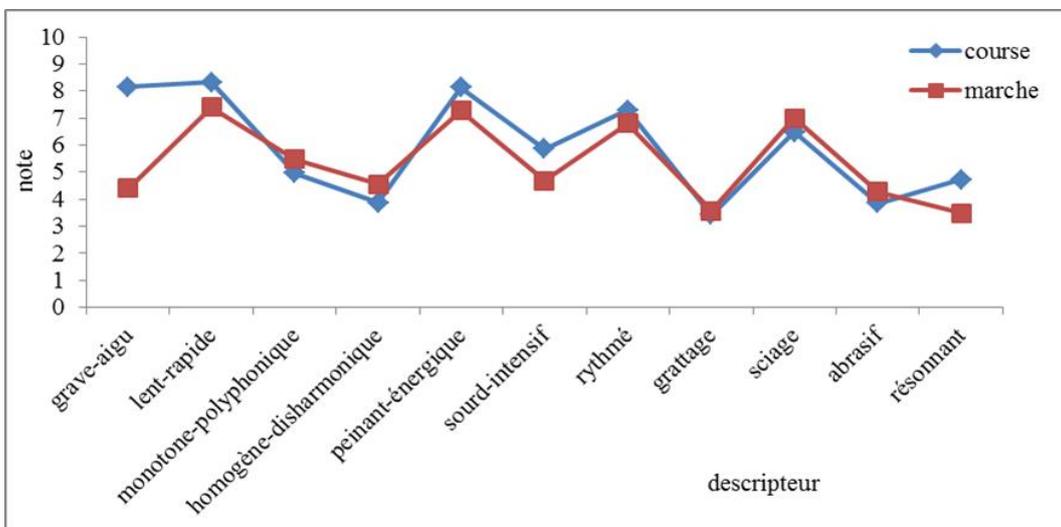


Figure 186 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure sergé 4 pour les deux vitesses de frottement

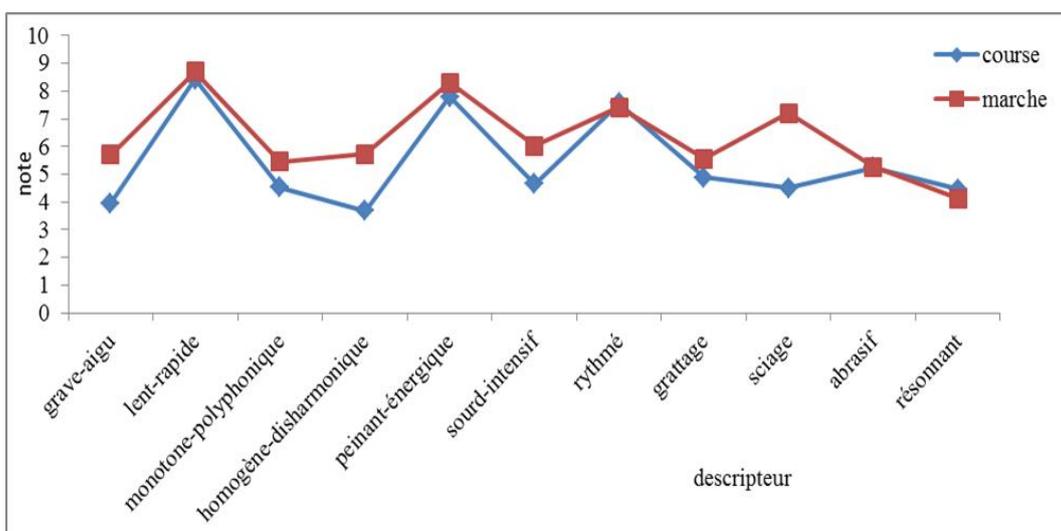


Figure 187 : Comparaison les profils sensoriels de l'armure toile pour les deux vitesses de frottement

ANNEXE 15

(Fonctions de transforme)

Способы преобразования нелинейных связей

Уравнение корреляционной связи	График функции	Способ преобразо- вания результа та Y и фактора X	Преобразованное уравнение
$y = a_0 + \frac{a_1}{x}$ (гиперболи- ческая)		$x' = \frac{1}{x}$	$y = a_0 + a_1 x'$
$y = a_0 e^{a_1 x}$ (показатель- ная)		$y' = \ln y$ $a_0' = \ln a_0$	$y' = a_0' + a_1 x$
$y = \frac{1}{a_0 + a_1 e^{-x}}$ (частный случай логистической кривой)		$y' = \frac{1}{y}$ $x' = e^{-x}$	$y' = a_0 + a_1 x'$
$y = a_0 x^{a_1}$ (степенная)		$y' = \ln y$ $a_0' = \ln a_0$ $x' = \ln x$	$y' = a_0' + a_1 x'$
$y = \frac{a_0 x}{x + a_1}$ (уравнение Торнквиста)		$y' = \frac{1}{y}, a_0' = \frac{1}{a_0}$ $a_1' = a_1 \cdot a_0'$ $x' = \frac{1}{x}$	$y' = a_0' + a_1' x'$
$y = 1 - \frac{1}{a_1 + a_0 x}$ (частный случай уравнения Торнквиста)		$y' = \frac{1}{1-y}$ $x' = \frac{1}{x}$	$y' = a_0 + a_1 x'$

- 13 -

Selon la forme de la relation des variables (colonne 2) nous choisissons les fonctions de transforme correspondant (colonne 3). La relation linéaire entre les variables transformées est présentée dans la colonne 4 dans le tableau [263].

ANNEXE 16

(Confection la veste d'homme)

La confection de la veste a été réalisée suite à la méthode utilisée pour tracer un modèle du vêtement masculin sportif [279].

1) Confection la veste avec une manche montée

Les phases suivantes montrent la méthode de tracer chaque partie du patron de base de la veste.

- *Construire le milieu devant et le milieu dos :*

Pour cela, nous avons tout d'abord tracé les lignes de référence. Les lignes de référence sont les suivantes : la ligne de de 7^{ème} cervicale, ligne de dessous du bras, ligne de taille, ligne de bassin, ligne de bas du vêtement et ainsi que les carreaux devant et dos.

D'après la Figure 188 : DM présente la ligne de 7^{ème} cervicale.

QT : ligne de dessous de bras avec DQ descente de montant dos + 4 cm (couture à l'encolure plus aisance à la profondeur d'emmanchure) à partir de DM.

OP : ligne de taille en descendant la longueur de taille dos (DO) à partir de DM.

WZ : ligne de bassin en descendant $\frac{2}{3}$ montant périnéal à partir de la ligne de taille, soit $OW = \frac{2}{3} \times 30,7 = 20,4\text{cm}$.

LI : ligne de bas du vêtement en descendant 15 cm à partir de la ligne de bassin.

QR, TS : représentent le carreau dos et devant respectivement.

CF, AE : représentent les longueurs des épaules. CD et MA représentent l'encolure de dos et de devant respectivement.

SR : représente la largeur d'emmanchure soit $\frac{1}{8}$ de tour de poitrine + 3 cm = 15,5 cm.

HV : profondeur d'emmanchure soit 24 cm.

CD, AB : représentent l'encolure du dos et du devant respectivement sachant que l'encolure du dos égale à $\frac{1}{16}$ de tour de poitrine + 3 cm, soit 9,2 cm, et l'encolure de devant égale à $\frac{1}{10}$ de tour de poitrine, soit 10 cm.

GT= 3 cm.

IR= 2,5 cm.

PRO : largeur de bas du dessus de manche soit 20 cm.

Soit le bloc CSDPOTJL représente la partie de dessus de la manche.

A partir de dessus de la manche nous traçons la partie représentant le dessous de la manche en ajoutant les points nécessaires.

- Tracer du dessous de la manche

$GG^2 = 1\text{cm.}$

$RR^2 = 1\text{cm.}$

PR^2 : largeur de bas du dessous de manche.

$CU^2 = 5\text{ cm.}$

$UU^2 = 0,5\text{cm.}$

U^2Z : le haut du dessous de manche en passant à 1,75 cm au-dessus du point H.

$BB^2 = 2,2\text{cm.}$

$DD^2 = 1,5\text{ cm.}$

Le bloc $U^2UPR^2G^2Z$ représente la partie de dessus de la manche.

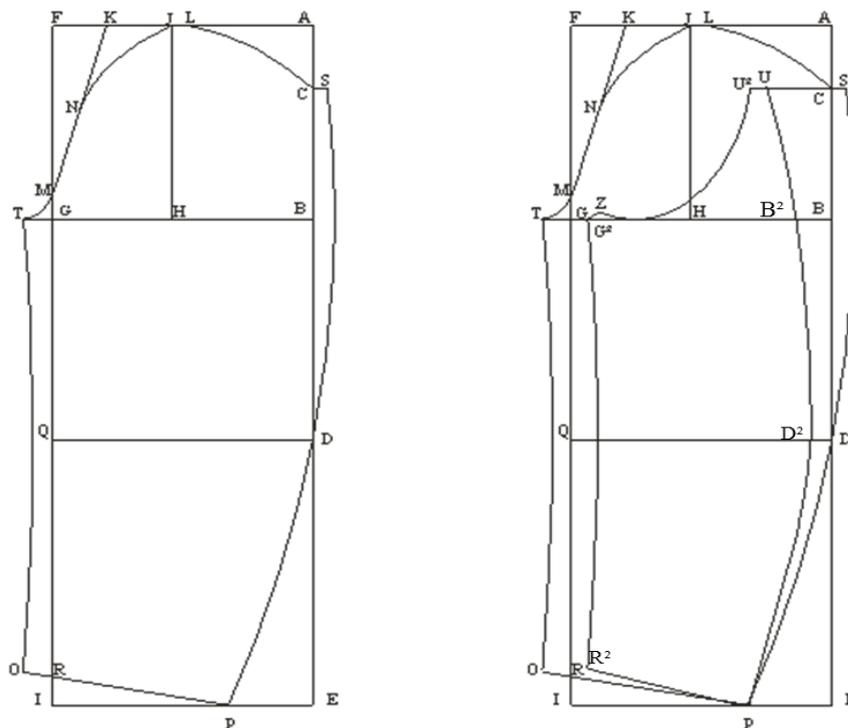


Figure 189 : Construction la manche montée. A gauche le dessus de la manche et à droite le dessous de la manche

- *Construire le col*

Le col peut comporter plusieurs formes. Le col cavalier est le plus répandu pour ce genre de vêtement. C'est pourquoi nous l'avons choisi pour les deux designs de la veste.

- Tracer le dessous du col

Nous avons tracé le rectangle CAGH dans la Figure 190 qui nous aidera à construire le col.

Sur le rectangle on peut distinguer :

DF : hauteur du pied- de- col soit 3,5 cm avec AD=1 cm.

FC : hauteur du tombant : 4,5 cm +1 cm (couture) =5,5cm.

DE² : longueur d'encolure du dos soit 9,2 cm.

E²B : longueur d'encolure du devant soit 10 cm.

GB= 4 cm.

CC²=0,5 cm et C²H représente le bord du tombant.

Le bloc DC²HB représente le dessous du col

- Tracer le dessus de col

Pour obtenir le tracé de dessus du col, nous avons basé sur le dessous du col comme support, et en ajoutant les points suivants qui nous servent à construire cette partie du col.

A² : à distance de 0,75 cm de C.

B² : à distance de 0,5 cm de B.

H² : à distance de 0,5 cm de H.

Grâce à ces points, nous avons tracé le bord du tombant parallèlement aux celui de dessous du col. Le bloc AA²H²B² présente le dessus de col.

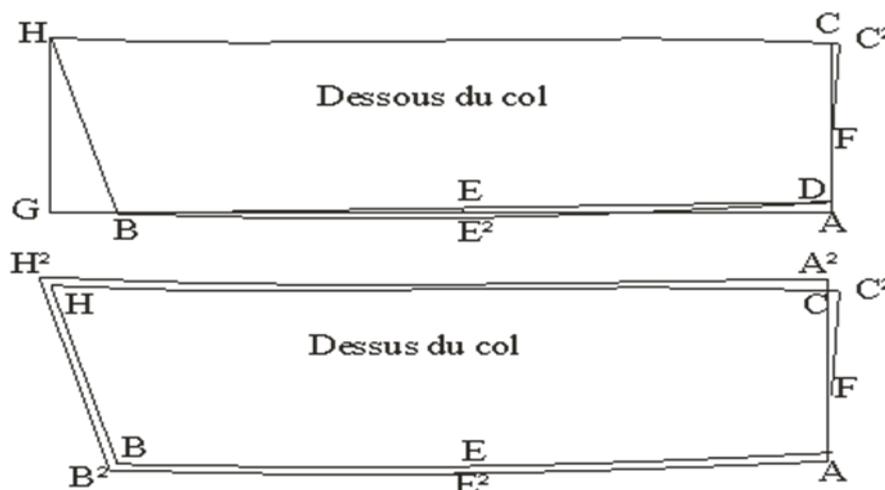


Figure 190 : Construction le col

2) Confection la veste avec des manches raglan

- *Construire le milieu devant et le milieu dos*

A partir du patron de base de la veste avec une manche montée, nous avons construit le nouveau design en relevant les épaules du dos et du devant.

D'après la Figure 191, nous avons ajouté le point V^2 au milieu du dos, où CV^2 représente la largeur de la patte raglan à l'encolure dos, soit 3,5 cm.

Le point W^2 est ajouté au milieu du devant, où AW^2 présente la largeur de la patte raglan à l'encolure devant, soit 3,5 cm.

Il est noté que les points V , W indiquent l'endroit où les deux emmanchures se joignent pour les deux milieux.

La partie CV^2VF va être relevée de milieu du dos, et la partie AW^2WE va être relevée de milieu du devant. Ces deux parties relevées seront ajoutées ultérieurement à la base de la manche raglan pour former la tête avec l'emmanchure raglan.

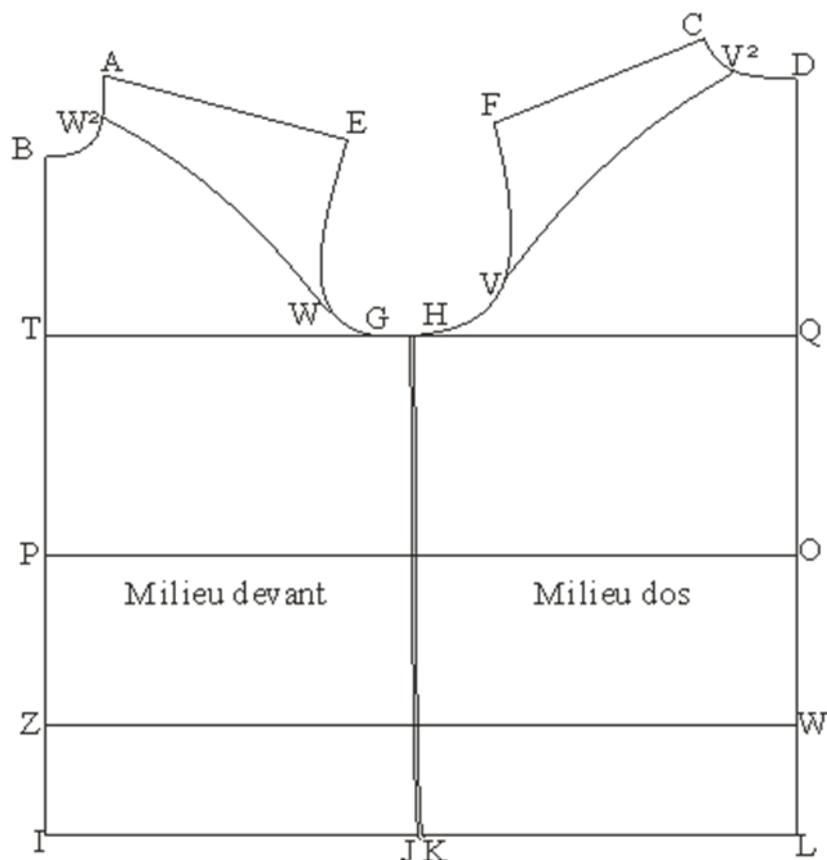


Figure 191 : Construction le milieu dos et devant de la veste avec une manche raglan

- *Construire la manche raglan*

Le dessus de la manche montée nous sert comme un support pour tracer les bordes de la manche raglan pour les deux parties antérieure et postérieure.

- Tracer la partie antérieure

Dans la Figure 192 nous avons ajouté les points suivants sur le dessus de la manche montée pour avoir la partie antérieure de la manche raglan.

P² avec PP² = 5 cm, R² avec RR² = 4 cm, U point situé à mi-distance + 1 cm entre P² et R².

L² avec LL² = 1 cm (on descend 1 cm la profondeur de l'emmanchure pour enlever un peu la tête de la manche), B² avec HB² = 2 cm, T² avec TT² = 6 cm (cette valeur a été calculée de façon à ce que la manche une fois montée la couture de dessous le bras coïncide avec la couture de côté de la veste), U² avec R²U² = 6 cm.

L²MT² présente la nouvelle tête de manche, et le bloc L²MT²U²U présente la partie antérieure de la manche.

- Tracer la partie postérieure

Avant de commencer à tracer la partie postérieure de la manche, il convient d'assembler le dessus et le dessous de la manche montée par la couture de coude. Pour ceci, il suffit de faire coïncider le talon du dessous de manche avec celui du dessus (points C et S comme apparaît dans la Figure 192) et de faire chevaucher les coutures au coude de 2 cm (points D et D²).

J² la tête de la partie postérieure avec JJ² = 1 cm. HH² = 1 cm. Z point situé à mi-distance entre R² et P². ZE² représente la largeur du bas de la partie postérieure qui est égale à la largeur du bas de la partie antérieure + 4 cm, soit 21 cm. M² présente le point d'accrochage en bas d'emmanchure avec N²M² = 4 cm.

C² point situé à 0,75 cm du point C. J²C²M² représente la nouvelle tête de la partie postérieure de la manche, et le bloc J²C²M²E²Z présente la partie postérieure de la manche.

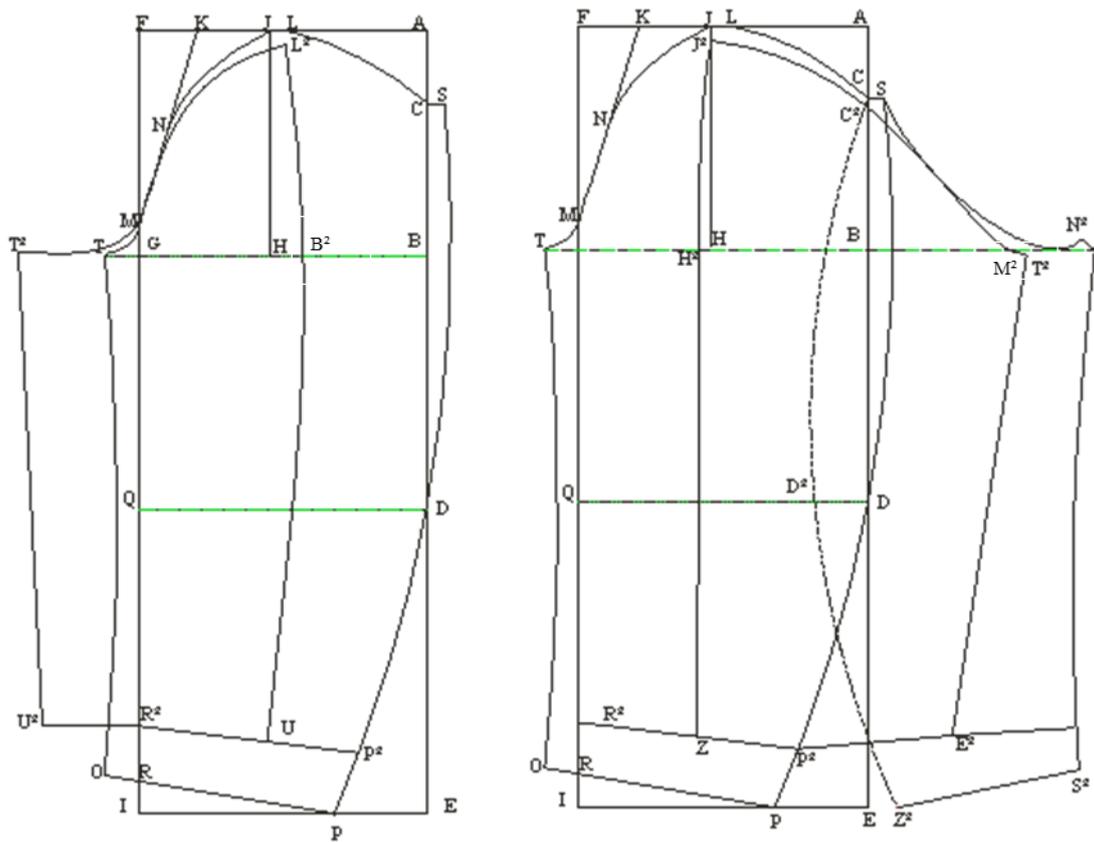


Figure 192 : Construction la manche raglan. A gauche la partie antérieure et à droite la partie postérieure

